ÜBER DEN EINFLUSS OBERIRDISCHER UND UNTERIRDISCHER WASSERZUFUHR BEI PFLANZENKULTURVERSUCHEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

VEREINIGTEN FRIEDRICHS-UNIVERSITÄT

HALLE-WITTENBERG

VORGELEGT VON

ALFRED FREIHERRN v. SCHELE

AUS SCHELENBURG BEI OSNABRÜCK.

HALLE a. S.

HOFBUCHDRUCKEREI VON C. A. KAEMMERER & CO.

1905.

Meinen geliebten Eltern!

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546028_0138

Die Pflanzenvegetations- und Pflanzenkultur-Versuchsmethoden, deren man sich heute zur Erforschung der günstigsten Wachstumsbedingungen der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen bedient, und welche sich insbesondere mit den chemischen und physikalischen Eigenschaften des Bodens, der Keimung und ersten Entwickelung des Saatkornes, den einzelnen Vegetationsstadien der Pflanze in bezug auf ihre Physiologie und ihrem quantitativen und qualitativen Zustand bei der Ernte beschäftigen, teilt F. Wohltmann[1]) folgendermassen ein:

1. Laboratoriums- und Gewächshausversuche in Wasser, indifferenten Medien und Erdboden.
   — Vegetationsversuche. —
2. Versuche in Kulturgefässen über der Erde im Freien.
3. Versuche in Kulturgefässen in der Erde im Freien (resp. im abgeschlossenen Bodenraum).
4. Kulturversuche auf Acker, und zwar:
   a) Beet-Versuche,
   b) Parzellen-Versuche,
   c) Feld-Versuche,
      α) lokale,
      β) summarische.

Ihrer Natur nach sind Vegetations- und Feldkulturversuche allein nicht imstande eine vollständige Lösung der Pflanzenkulturfragen zu geben, und es ist die Aufgabe der Versuche in Kulturgefässen, diese Lücke auszufüllen.

1) Berichte aus dem physiologischen Laboratorium und der Versuchsanstalt des landwirtschaftlichen Instituts der Universität Halle, herausgegeben von Julius Kühn. Heft VII. 1887. S. 4.

Die Prüfung und Vervollkommnung der Methode der Vegetationsversuche in Kulturgefässen war der Zweck der damaligen Arbeit F. Wohltmann's.

Dasselbe Ziel verfolgte auch eine Modifikation, welche O. Kellner bei seinen Kulturversuchen zur Anwendung gebracht hat. In einem Aufsatz betr. Untersuchungen über die Düngewirkung der Knochenmehl-Phosphorsäure[1]) führt er aus, durch eine stets von oben (durch Begiessen) bewirkte Bewässerung der Versuchsgefässe könne möglicherweise die wasserlösliche Phosphorsäure des Superphosphats in die unteren Schichten des Bodens und in den Kies gespült werden. Diese Gefahr existiere vor Allem bei einem Sandboden, dessen abschlämmbare Teile in weit überwiegendem Verhältnis aus Quarzstaub bestehen, da dieser ja nur ein geringes Absorptionsvermögen für Phosphorsäure besitze, und das Aufbringen der recht beträchtlichen, täglich nicht selten über 1 *l* betragenden Wassermengen für den Boden in den kleinen Gefässen jedesmal einen Wolkenbruch bedeute. Daher schlägt er unterirdische Wasserzufuhr vor; zu diesem Zwecke und für die Durchlüftung des Bodens wurden von ihm bei seinen Kulturgefässen, die 25 cm tief, 20 cm lang und 15 cm breit sind, in der Mitte der schmalen Seiten jedes Gefässes zwei Glasröhren von 12—15 mm lichtem Durchmesser eingesetzt, welche unten in einen siebartig durchlochten, in Kies eingebetteten Halbcylinder von Eisenblech einmündeten und oben ca. 1 cm hoch aus der Erde hervorragten.

Die Aufgabe der vorliegenden Arbeit soll es nun sein, einen Beitrag zu liefern zu der Frage der Wirkung ober- und unterirdischer Wasserzufuhr bei Versuchen in Kulturgefässen. Es wurden zwei Fruchtarten, eine Halmfrucht, Hafer, und eine Blattfrucht, weisser Senf, vier verschiedene Böden und ein Wassergehalt des Bodens von 55%, 60% und 65% der betreffenden Wasserkapazität berücksichtigt. Der einen Hälfte

1) Deutsche Landwirtschaftliche Presse. Jahrgang XXVII. Nr. 52.

der Versuchsgefässe wurde das Wasser oberirdisch, der anderen unterirdisch zugeführt. Die Gesamtzahl der Versuche betrug somit 48, die der Kultur-Gefässe 96, indem für jeden Versuch 2 Parallelgefässe aufgestellt wurden. Es wurden demnach 48 Gefässe oberirdisch, 48 unterirdisch bewässert, 48 waren mit Hafer, 48 mit Senf bestellt, je 24 waren mit derselben Bodenart gefüllt und je 32 hatten gleichen Wassergehalt.

Die Arbeit wurde ausgeführt auf Anregung Sr. Excellenz des Wirklichen Geheimen Rates und Direktors des landwirtschaftlichen Institutes der Universität Halle, Herrn Professors Dr. Julius Kühn, welcher mir dazu das landwirtschaftlich-physiologische Laboratorium und die zur Ausführung der Versuche erforderlichen praktischen Hilfsmittel gütigst zur Verfügung stellte. Ich erlaube mir, demselben für die Unterstützung, welche er in liebenswürdigster Weise meinen Arbeiten zu Teil werden liess, meinen gehorsamsten Dank auszusprechen.

Zu den Versuchen wurden Paul Wagner'sche Kulturgefässe benutzt mit der Modifikation, wie sie Julius Kühn [1]) vorgenommen hat. Diese Zinkblechgefässe sind von quadratischem Querschnitt mit 20 cm-Seiten, besitzen demnach eine Oberfläche von 400 qcm und weisen eine Höhe von 25 cm auf. Für die Durchlüftung ist an einer Seite der Gefässe, etwa 7,5 mm vom Boden, eine Tülle von ca. 14 mm Durchmesser und mit nach oben stehendem Ende angebracht. In dieses ist eine Glasröhre eingesetzt, die im Lichten eine Weite von 9 mm hat und mit dem oberen Rande des Kulturgefässes abschneidet.

Verwendet wurden zu den Versuchen vier Böden, die der Ackerkrumme entnommen wurden. Boden No. I ist ein diluvialer Sand und stammt von dem Rittergute Lindchen (Kreis Kalau, Reg.-Bez. Frankfurt a. O., Sr. Excellenz dem Wirklichen Geheimen Rate Herrn Professor Dr. J. Kühn

1) Berichte aus dem physiologischen Laboratorium und der Versuchsanstalt des landw. Instituts der Universität Halle von Julius Kühn. Heft XIII, 1898, S. 201.

gehörig). Boden No. II ist ein toniger Lehmboden (aus Ellenbach b. Kassel, Bes. Herr Rgsbs. Caron), Boden No. III ist diluvialer Geschiebe-Lehm (aus Reinsdorf b. Landsberg, Prov. Sachsen, Bes. Herr Rgsbs. Bieler) und Boden No. IV ist ein Niederungsmoorboden (aus Cunrau, Prov. Sachsen, Bes. Familie Rimpau).

Die Untersuchung der Böden lieferte folgende Resultate:

A. Die mechanische Bodenanalyse.

Diese wurde mittelst des J. Kühn'schen Schlämmcylinders und nach dem Verfahren ausgeführt, welches J. Kühn vorgeschlagen hat. Der Boden, welcher durch das 5 mm Sieb hindurchgegangen ist, (< 5 mm) setzt sich zusammen aus gröberen Gesteinstrümmern und der Feinerde. J. Kühn bezeichnet als Feinerde die Bodenteile, welche < 2 mm sind, während Fesca 4 mm, E. Wolff und Schöne 3 mm und Grandeau 1 mm als oberste Korngrösse angeben. Die Bodenteile in der Korngrösse über 5 mm werden danach als grobes Gestein bezeichnet, von 5—3 mm als grober Kies,[1]) von 3—2 mm als feiner Kies,[1]) von 2—1 mm als Perl-Sand, von 1--0,5 mm als grober Sand, von 0,5 bis 0,25 mm als feiner Sand, unter 0,25 mm als feinster Sand, worauf die abschlämmbaren Teile folgen. Die Feinerde umfasst demnach den Sand und die abschlämmbaren Teile.

Die mechanische Analyse ergab bei fehlendem gröberen Gestein:

Boden	No. I
Kies > 3 mm . .	1,010%
„ > 2 „ . . .	0,810 „
Sand > 1 „ . . .	14,798 „
„ > 0,5 „ . . .	2,388 „
„ > 0,25 „ . . .	64,102 „
„ < 0,25 „ . . .	6,284 „
Abschlämmbare Teile .	10,608 „
	Sa. 100,000%

1) resp. Grus.

Boden No. II.

Kies > 3 mm . . .	1,900 %
„ > 2 „ . . .	0,372 „
Sand > 1 „ . . .	1,688 „
„ > 0,5 „ . . .	5,102 „
„ > 0,25 „ . . .	7,466 „
„ < 0,25 „ . . .	40,908 „
Abschlämmbare Teile .	42,564 „
Sa.	100,000 %

Boden No. III.

Kies > 3 mm . . .	0,366 %
„ > 2 „ . . .	0,254 „
Sand > 1 „ . . .	2,546 „
„ > 0,5 „ . . .	1,990 „
„ > 0,25 „ . . .	14,390 „
„ < 0,25 „ . . .	33,368 „
Abschlämmbare Teile .	47,086 „
Sa.	100,000 %

Boden No. IV. [1])

	a) Von dem Gesamt-Boden.	b) Von dem nach dem Glühen zurückgebliebenen Bodenskelett.
Kies > 3 mm . . .	1,238 %	5,615 %
„ > 2 „ . . .	0,232 „	1,052 „
Sand > 1 „ . . .	2,266 „	10,277 „
„ > 0,5 „ . . .	1,934 „	20,363 „
„ > 0,25 „ . . .	4,490 „	8,771 „
„ < 0,25 „ . . .	2,842 „	12,889 „
Abschlämmbare Teile .	9,048 „	41,033 „
Verbrannte Substanz .	77,950 „	—,— „
Sa.	100,000 %	100,000 %

1) Dieser Boden (Moorboden) wurde geglüht, und dann das zurückgebliebene Skelett der mechanischen Analyse unterworfen.

B. Die Wasserkapazität des Versuchsbodens.[1])

	a) Lufttrockener Boden.	b) Bei 100° C getrockneter Boden.
Boden No. I	19,22%	19,32%
„ „ II	30,31 „	30,77 „
„ „ III	32,09 „	32,51 „
„ „ IV	118,91 „	135,44 „

C. Die Filtrationsfähigkeit des Versuchsbodens.[2])

	1.	2.	3.	Mittel.
Boden No. I	11 Std.	13½ Std.	17 Std.	13,8 Std.
„ „ II	166 „	203 „	222½ „	197,2 „
„ „ III	96 „	116½ „	128 „	113,5 „
„ „ IV	80½ „	92½ „	97 „	90,0 „

D. Die Hygroskopizität des Versuchsbodens.[3])

Boden No. I	0,58%
„ „ II	1,44 „
„ „ III	1,26 „
„ „ IV	12,19 „

E. Der Humusgehalt des Versuchsbodens.[4])

	a) Lufttrockener Boden.	b) Bei 100° C getrockneter Boden.
Boden No. I	1,3471%	1,3538%
„ „ II	1,4526 „	1,4744 „
„ „ III	1,8520 „	1,8761 „
„ „ IV	60,2364 „	68,6093 „

1) Dieselbe (grösste Wasserkapazität) wurde bestimmt mittelst 17 cm hoher und 3 cm weiter Blechsäulen mit feinem Siebboden, welcher mit Filtrierpapier überdeckt wurde.

2) Ermittelt durch vierkantige, unten mit einer Spitze versehene Blechsäulen.

3) Bestimmt durch Trocknen bei 100° C.

4) Ermittelt durch die Elementaranalyse nach G. Loges.

F. Die mikroskopische Untersuchung der abschlämmbaren Teile.

Die abschlämmbaren Teile setzen sich bei Boden No. I zum grössten Teil aus Quarzstaub zusammen, bei Boden No. II aus Kaolin und Quarz, bei Boden No. III aus Quarz mit Beimengungen von Kaolin und Glimmer und bei Boden No. IV hauptsächlich aus Quarz.

Werfen wir einen Blick auf die vorstehenden Analysen, so erkennen wir aus ihnen den physikalischen Charakter unserer Versuchsböden, soweit derselbe für unsere Untersuchungen in Betracht kommt.

Boden No. I lässt einen sehr geringen Gehalt an abschlämmbaren Teilen sowie an feinstem Sand ($< 0{,}25$ mm) erkennen, die ersteren bestehen in weit überwiegendem Masse aus Quarzstaub.

Die Struktur eines Bodens hat auf seine wasserhaltende Kraft den grössten Einfluss, indem dieselbe mit der Feinheit der Bodenelemente im allgemeinen wächst. Dies zeigen Untersuchungen, welche E. Wollny[1]) über die Wasserkapazität von Bodenarten bei verschiedener Grösse der Bodenteilchen angestellt hat. Das verwandte Material war Quarz, die Wasserkapazität = der grössten Wasserkapazität.

Sortiment	Grösse der Bodenteilchen resp. Krümmel	Wasserkapazität	
		Vol. %	Gew. %
I	0,01 —0,071 mm	44,90	32,05
II	0,071—0,114 „	44,46	32,07
III	0,114—0,171 „	42,30	28,87
IV	0,171—0,25 „	40,20	25,99
V	0,25 —0,50 „	38,69	24,67
VI	0,50 —1,00 „	37,10	22,95
VII	1,00 —2,00 „	34,52	21,13
Gemisch von I—VII	0,01—2,00 „	28,52	16,09

1) Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. VIII. 1885. S. 195.

Da nun der vorliegende Boden verhältnismässig grobkörnig ist, so erklärt sich teilweise hieraus schon seine geringe Wasserkapazität.

Durch den Umstand, dass auch die feinsten Bodenteile zum weitaus grössten Teile aus Quarzsand bestehen, welcher die geringste wasserhaltende Kraft von allen Bodenkonstituenten besitzt,[1]) und der Boden als humusarm zu bezeichnen ist, entsprechend der von W. Knop[2]) aufgestellten Skala, wird ebenfalls die Wasserkapazität deprimiert. Nach Knop sind alle Böden, welche 0—2,5% Humus enthalten, humusarm, humushaltig mit 2,5—5%, humos mit 5—10%, humusreich mit 10—15% und humusüberreich mit > 15% Humus. Je höher der Humusgehalt eines Bodens ist, um so höher ist seine Wasserkapazität und je niedriger der Humusgehalt, um so niedriger die Wasserkapazität, was aus Untersuchungen hervorgeht, welche E. Wollny[3]) über diesen Gegenstand angestellt hat. Danach betrug die Wasserkapazität (grösste) bei:

Quarz	37,62 Vol. %	26,09 Gew. %
$^2/_3$ Quarz + $^1/_3$ Humus	46,19 „ „	38,73 „ „
$^1/_3$ Quarz + $^2/_3$ Humus	59,61 „ „	80,61 „ „
Humus	74,59 „ „	253,60 „ „

Die Gemische waren nach dem Volumen zusammengestellt.

Im umgekehrten Verhältnis zur wasserhaltenden Kraft steht die Filtrationsfähigkeit dieses Bodens, welche bei weitem am grössten von den vier Versuchsböden ist. Dieselbe nimmt zu mit der Korngrösse und ab mit dem Ton- und Humus-

1) E. Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. VIII. 1885. S. 195

2) Die Bonitierung der Ackererde. 1871. S. 67.

3) Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd VIII. 1885. S. 195.

gehalt. Bei Versuchen von E. Wollny[1]) hierüber betrug z. B. die durch eine Bodenschicht von 30 cm Höhe und 19,634 qcm Querschnitt in 10 Stunden bei einem Wasserdruck von 100 cm filtrierte Wassermenge:

Bodenmaterial	Korngrösse mm	Liter
Torf von Aibling (Oberbayern)	0,01—0,114	0,0182
Torf von Oldenburg	0,01—0,250	0,2582
Ton (Kaolin)	—,—	0,000
Kalksand	0,01—0,250	2,586

Untersuchungen, welche E. Wollny[2]) über Sickerwassermengen anstellte, beleuchten den Einfluss der Struktur des Bodens auf seine Filtrationsfähigkeit besonders deutlich. Er erhielt im Jahre 1892 vom 31. März bis 29. September in Summa an Sickerwassermengen pro 400 qcm Fläche:

Quarzsand		Sickerwasser
I	0,0 —0,25 mm	8836 g
II	0,25—0,50 „	15091 „
III	0,5 —1,0 „	18880 „
IV	1 —2 „	20641 „
V	2 —4,5 „	21876 „
VI	4,5 —6,75 „	22138 „
I—VI	0,0 — 6,75 „	17221 „

Die Regenmenge pro 400 qcm Fläche betrug während dieser Zeit in Summa 27338 g.

1) Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. XIV. 1891. S. 16.

2) Ebendaselbst. Bd. XVI. 1893. S. 389.

Dieselben Resultate lieferten die Untersuchungen, welche im Jahre 1893 vom 29. März bis 27. September angestellt wurden:

Quarzsand		Summe der Sickerwassermengen pro 400 qcm Fläche
I	0,0 —0,25 mm	4330 g
II	0,25—0,50 „	10584 „
III	0,5 —1,0 „	12790 „
IV	1 —2 „	13557 „
V	2 —4,5 „	15398 „
VI	4,5 —6,75 „	15749 „
I—VI	0,0 —6,75 „	11727 „

Die Summe der Regenmenge während dieser Zeit belief sich auf 20286 g.

Die Hygroskopizität oder das Adsorptionsvermögen für das Wassergas der Luft ist unter den Versuchsböden bei dem vorliegenden Boden am geringsten. Auf dieses ist ebenfalls die Boden-Struktur und der Humusgehalt von Einfluss und zwar in der Weise, dass dasselbe um so grösser wird, je feiner die Bodenelemente sind und je mehr Humus ein Boden besitzt. Dies beweisen die Untersuchungen von G. Ammon[1]) und A. Freiherr von Dobeneck.[2]) Nach G. Ammon adsorbierten 100 g Quarzsand bei 17° C:

Korndurchmesser		Wassergas
No. I	Staub —0,20 mm	0,287 g
„ II	0,20—0,30 „	0,237 „
„ III	0,30—0,74 „	0,137 „
„ IV	0,74—1,80 „	0,062 „
„ V	1,80—2,50 „	0,028 „

1) Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. II. 1879. S. 27.

2) Ebendaselbst. Bd. XV. 1892. S. 163.

Nach A. von Dobeneck adsorbierten 100 g Boden bei 0^0 und 760 mm Barometerstand Wassergas aus gesättigter Luft:

Quarz	0,159 g	oder 197 ccm
Kohlensaurer Kalk .	0,224 „	„ 278 „
Kaolin	2,558 „	„ 3172 „
Eisenoxydhydrat . .	15,512 „	„ 19236 „
Humus	15,904 „	„ 19722 „

Boden No. II zeigt eine bedeutend feinere Struktur wie Boden No. I; die Menge der abschlämmbaren Teile ist bei jenem reichlich viermal so gross als bei diesem. Während dieselben bei ersterem aus Kaolin mit geringen Beimengungen von Quarz bestehen, setzen sie sich bei letzterem fast nur aus Quarz zusammen. Abschlämmbare Teile und feinster Sand ($<$ 0,25 mm) machen zusammen über 83% dieses ganzen Bodens aus, bei Boden No. I noch nicht 17%. Auch der Humusgehalt ist etwas höher bei No. II. Wie die Humusbeimischung bei Ton die Wasserkapazität erhöht und die Quarzbeimischung dieselbe heruntersetzt, beweist E. Wollny[1]) durch folgende Untersuchungen:

Boden-Art (Gemische nach Volumen)		Wasserkapazität (Grösste)	
Ton	58,13	Vol. %	55,91 Gew. %
$^2/_3$ Ton + $^1/_3$ Humus	59,45	„ „	69,62 „ „
$^1/_3$ Ton + $^2/_3$ Humus	64,92	„ „	113,93 „ „
$^2/_3$ Ton + $^1/_3$ Quarz	47,49	„ „	39,44 „ „
$^1/_3$ Ton + $^2/_3$ Quarz	41,51	„ „	28,84 „ „

1) Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. VIII. 1885. S. 195.

Analog der verschiedenen Beschaffenheit der beiden Böden ist auch die Wasserkapazität, Hygroskopizität und Filtrationsfähigkeit eine verschiedene. Nach den obigen Ausführungen ist es naturgemäss, dass die Wasserkapazität und Hygroskopizität höher, die Filtrationsfähigkeit niedriger als bei Boden No. I ist.

Boden No. III unterscheidet sich von dem vorhergehenden zunächst dadurch, dass die abschlämmbaren Teile vorwiegend aus Quarz mit Beimengungen von Kaolin und Glimmer bestehen, und um etwa $4^1/_2\,\%$ zahlreicher sind. Zwar ist die Menge des feinsten Sandes ($< 0{,}25$ mm) um etwa $7^1/_2\,\%$ geringer als bei Boden No. II, dafür hat dieser aber um etwa $7\,\%$ weniger feinen Sand ($> 0{,}25$ mm), so dass feiner und feinster Sand ($< 0{,}25$ mm und $> 0{,}25$ mm) zusammen mit den abschlämmbaren Teilen bei dem vorliegenden Boden fast $95\,\%$ betragen, bei dem vorigen dagegen kaum $91\,\%$. Zeigt somit die mechanische Beschaffenheit der beiden Böden keine besonders grossen Unterschiede, so ist die Differenz im Humusgehalt ebenfalls verhältnismässig gering. Infolge der etwas feineren Struktur, dem höheren Gehalt an Humus und der in dieser Hinsicht günstig wirkenden flachen Form[1]) des Glimmer ist auch die Wasserkapazität eine etwas höhere. Bei der Hygroskopizität und Filtrationsfähigkeit dürfte jedoch der Einfluss des Tons vom Boden No. II den der oben genannten Momente übertroffen haben, indem die erstere etwas niedriger, die letztere erheblich höher als bei dem Boden No. III war.

Boden No. IV wurde als Moorboden, wie oben erwähnt, vor der mechanischen Analyse geglüht. Der Glühverlust betrug fast $78\,\%$. Die abschlämmbaren Teile des Bodenskeletts, die hauptsächlich aus Quarz bestanden, machten etwa $9\,\%$ vom Gesamtboden oder $41\,\%$ des Skeletts aus. In der Menge der abschlämmbaren Teile, welche beim Abschlämmen aus der Differenz gefunden ist, sind die löslichen

1) A. v. Liebenberg. Über das Verhalten des Wassers im Boden. Inaug.-Dissertation. Halle 1873. S. 19.

Teile der Asche mit enthalten. Aus der Analyse geht hervor, dass dem Moorboden Sand beigemischt war.

Der Humusgehalt hatte eine Höhe von über 60 % des lufttrockenen und von über 68½ % des bei 100° C getrockneten Bodens. Da nach den oben angeführten Untersuchungen Humus von allen Bodenkonstituenten die grösste Wasserkapazität und Hygroskopizität besitzt, so waren diese bei dem vorliegenden Boden trotz der verhältnismässig groben Struktur desselben ausserordentlich hoch, der Filtrationsfähigkeit entsprechend verhältnismässig gering.

Die Düngung des Versuchsbodens wurde ausgeführt nach Massgabe der Düngung bei den die Einfelderwirtschaft repräsentierenden Parzellen des statischen Versuchs[1]) auf dem Versuchsfelde des landwirtschaftlichen Instituts der Universität Halle und zwar in derselben Weise wie Parzelle III daselbst gedüngt wird.

1 ha erhält danach jährlich 56 kg wasserlösliche Phosphorsäure in der Form des Superphosphates. 90 kg Kali in der Form des Kainits, 20 kg Stickstoff in der Form des schwefelsauren Ammoniaks im Herbst und 20 kg Stickstoff in der Form des Chilesalpeters als Kopfdüngung im Frühjahr. Bei Boden No. I (Sandboden) wurde statt 50 kg wasserlöslicher Phosphorsäure in der Form des Superphosphates 56 kg citronensäurelösliche Phosphorsäure in der Form des Thomasphosphatmehles angewandt. Ausserdem wurde dem gesamten Versuchsboden 1000 kg kohlensaurer Kalk pro ha gegeben. Nach der Analyse enthielt das zur Verwendung gelangende Superphosphat 16,840 % P_2O_5 wasserlöslich, das Thomasphosphatmehl 16,930 % P_2O_5 citronensäurelöslich, das schwefelsaure Ammoniak 20,608 % N, und der Kalkmergel 83,125 % $CaCO_3$. Ausserdem wurde Kainit mit 12,4 % Kali und Chilesalpeter mit 15,3 % Stickstoff verwendet. Da die Oberfläche eines Vegetationsgefässes 0,000004 ha

1) J. Kühn, Berichte aus dem physiologischen Laboratorium und der Versuchanstalt des landwirtschaftlichen Instituts der Universität Halle. Heft XV, S. 173.

beträgt, so kam auf 1 Gefäss 1,33 g Superphosphat, resp. 1,32 g Thomasphosphatmehl, 2,90 g Kainit, 0,39 g schwefelsaures Ammoniak, 0,52 g Chilesalpeter und 4,00 g kohlensaurer Kalk. Die Düngemittel wurden mit dem Versuchsboden des Gefässes gemischt mit Ausnahme des Chilesalpeters, der als zweimalige Kopfdüngung, wie es dem Verfahren auf der oben genannten Parzelle des Versuchsfeldes des landwirtschaftlichen Instituts entspricht, gegeben wurde.

Bei der Füllung der Gefässe wurden auf dem Grunde derselben 1,5 kg angefeuchteter Saale-Kies, $>$ 5 mm und $<$ 10 mm verteilt, wodurch eine Schicht von etwa 2 cm Höhe gebildet wurde, in welche die oben genannte Tülle hineinmündete und so die Durchlüftung des Untergrundes bewirkte. Der lufttrockene Versuchsboden, aus dem alle Steine $>$ 5 mm ausgesiebt waren, wurde sodann in Schichten von 1—2 kg eingefüllt, wobei zu jeder Schicht das erforderliche Wasser hinzugefügt wurde. Die Raumhöhe des gesamten Bodens exkl. des Untergrund-Materials betrug 20 cm.

Zur Saat wurde gewählt Beselers Anderbecker Hafer, Avena sativa, blassgelblich, doppelfrüchtig, gezogen aus Probsteier Hafer, und Finnländischer weisser Senf, Sinapis alba. Um ein möglichst gleichmässiges Saatgut zu erhalten, wurde dasselbe sorgfältig aus einem grösseren Quantum mit der Hand ausgelesen. In Anbetracht des somit gewonnenen tadellosen Saatgutes wurden, damit ein gleichmässiger Abstand der einzelnen Pflanzen untereinander sowohl als auch vom Rande des Kulturgefässes erzielt und eine Lagerung vermieden wurde, nur 9 Pflanzen bei beiden Fruchtarten pro Gefäss (0,04 qm) vorgesehen.

Mithin betrug der Abstand der Pflanzen, der bei der Einsaat mittelst Markeurs bestimmt wurde, von einander und vom Rande 5 cm. Der Hafer wurde vor der Saat eingekeimt, und die etwaigen späteren Lücken sofort ausgebessert; bei der Senf-Einsaat wurden an jede bezeichnete

Stelle 3 Körner gelegt und die überflüssigen Pflanzen dann später beseitigt. Die Saatdecke hatte bei beiden Fruchtarten eine Stärke von 1 cm.

Die Bestellung des Hafers, welcher in grünem Zustand nach Ausbildung der Körner abgeerntet werden sollte, erfolgte Mitte Juni, die des Senfes Ende August.

Sämtliche Versuchsgefässe fanden Aufstellung in auf Schienen ruhenden Wagen vor dem Vegetationshause des landwirtschaftlichen Instituts. In dieses konnten sie beim Herannahen eines Regens leicht rechtzeitig hineingefahren werden. Während der Nachtzeit befanden sich die Gefässe im Vegetationshaus, das durch engmaschige Gittertüren verschlossen wurde, so dass eine ungehinderte Zirkulation der Luft stattfinden konnte. Um Schädigungen durch Vögel vorzubeugen, wurden die Versuchsgefässe durch eine Frau beaufsichtigt. Bis zur gänzlichen Beendigung des Auflaufens der Saat wurden sämtliche Gefässe von oben begossen, darauf wurde die Differenzierung der Wasserzufuhr vorgenommen. Die Verdunstungsmenge jedes Gefässes wurde so oft ersetzt, dass der Wasserverlust 10 % des normalen Wassergehaltes nicht übersteigen konnte. Während der wärmeren Jahreszeit war daher eine tägliche Wasserzufuhr erforderlich. Durch öfteres flaches Hacken sämtlicher Gefässe wurde der Boden gelockert und das Unkraut ausserdem regelmässig mit der Hand beseitigt; dasselbe wurde in den Kästen belassen. Zur Stützung des Hafers wurden an den Ecken der Gefässe vier Stäbe angebracht und durch Bast verbunden. Der Vegetationsverlauf war bei beiden Fruchtarten ein im allgemeinen normaler. Bei einigen Gefässen des Hafers trat die Getreideblattlaus, Aphis cerealis, auf und verursachte trotz energischer Bekämpfung einigen Schaden. Die betreffenden Versuchsgefässe sind in den Ernte-Tabellen näher bezeichnet.

Die Ernte des Hafers fand nach einer Vegetationszeit von 12 Wochen Mitte September statt, die des Senfes nach einer Vegetationszeit von 8 Wochen Ende Oktober. Beide

Früchte wurden unmittelbar über der Erde mit der Scheere abgeschnitten und in einem gut ventilierten Raume getrocknet.

Wir haben nun zunächst die Wirkung einer oberirdischen und unterirdischen Wasserzufuhr auf dem Boden zu beleuchten, unter Berücksichtigung der einschlägigen Literatur.

Wenn das Wasser von oben in den Boden eindringt, so wird es in den kapillaren Hohlräumen zurückgehalten, in den nicht kapillaren dagegen hat es infolge der Schwerkraft die Tendenz, weiter zu versickern, wobei auch die Flächenattraktion der Bodenteile für Wasser von Einfluss ist.[1]) Demnach muss das Wasser umsoweniger tief in den Boden dringen, je mehr kapillare Hohlräume in demselben vorhanden sind, und um so schneller wird es in den Boden hineinsinken, je mehr nicht kapillare Hohlräume dieser besitzt. Ferner geht daraus hervor, dass, je höher die Wasserkapazität eines Bodens ist, umsoweniger tief und um so langsamer das Eindringen des Wassers in denselben sein wird, weil die wasserfassende Kraft abhängt von der Menge der kapillaren Hohlräume. Eine Ausnahme hiervon macht nur der Humus insofern, als bei ihm das Versinken des Wassers in den Boden nicht der Wasserkapazität proportional ist, sondern er in dieser Beziehung zwischen dem Quarz und Ton steht,[2]) mithin das Wasser am schnellsten in den Quarz eindringt, demnächst in den Humus und am langsamsten in den Ton, während der Humus entsprechend der Höhe seiner wasserfassenden Kraft eigentlich die letzte Stelle einnehmen müsste. Dies erklärt sich daraus, dass die Tonteilchen infolge ihrer colloidalen Beschaffenheit[3]) durch den Einfluss des Wassers aufquellen, und infolgedessen die

1) A. v. Liebenberg, Über das Verhalten des Wassers im Boden. Inaug.-Dissertation. Halle 1873. S. 31.

2) E. Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. VIII. 1885. S. 209.

3) Th. Schlösing, Comptes rendus. Bd. 78 No. 18. p. 1276 und Journal de l' agriculture 1874. No. 287—290.

Leitung des Wassers ausser von der Grösse der Kapillaren von jener Eigenschaft des Bodens abhängig ist.[1]) Da durch das Aufquellen der Partikel das Wasser intensiv angezogen wird, die Kapillaren enger werden und die Tonteilchen eine dichte Masse bilden, so muss naturgemäss das Eindringen des Wassers in den Boden in erheblicher Weise verlangsamt werden. Bei dem Humus findet ebenfalls ein Aufquellen der Bodenelemente statt, indem die ganz feinen Kapillaren derselben das Wasser stark in sich aufsaugen, jedoch treten die Bodenteile nicht wie bei dem Ton in eine engere Verbindung; die Humussubstanzen setzen daher der Leitung des Wassers nicht einen derartigen Widerstand wie die Tonteilchen entgegen. Im Gegensatze zu diesen beiden Bodenkonstituenten stehen die Quarzteile, welche für Wasser undurchdringbar sind; es richtet sich daher bei Böden, die sich aus letzteren hauptsächlich zusammensetzen, die Bewegung des Wassers fast allein nach der Grösse und der Form der Bodenteilchen.

Diese Erscheinung der kapillaren Wasserleitung ist sowohl bei oberirdischer, als unterirdischer Wasserzufuhr in gleicher Weise zu beobachten.[2])

Von Einfluss auf die kapillare Wasserbewegung ist fernerhin die Struktur des Bodens.[3]) Wenn das Wasser von unten zugeführt wird, so nimmt mit der Feinheit der Bodenpartikel die Höhe, bis zu welcher dasselbe gehoben wird, zu, die Geschwindigkeit in der Fortbewegung des Wassers dagegen nimmt entsprechend ab. Ein völliger Stillstand in der Wasserleitung tritt bei einer Korngrösse von ca. 2,5 mm ein. Findet die Wasserzufuhr von oben statt, so wächst mit der Grösse der Bodenteilchen die Schnelligkeit in der

1) E. Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. VII. 1884. S. 297.

2) E. Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. VIII. 1885. S. 210.

3) E. Wollny, Ebendaselbst. Bd. VII. 1884. S. 279 und H. v. Klenze, Landwirtschaftliche Jahrbücher. Heft I. 1877. S. 83.

Abwärtsbewegung des Wassers. Das Vorhandensein nicht kapillarer Hohlräume beschleunigt, wie oben bereits hervorgehoben wurde, bei oberirdischer Wasserzufuhr das Eindringen des Wassers in den Boden; andererseits wird bei unterirdischer Wasserzufuhr die Geschwindigkeit des Wassers dadurch verlangsamt. Über die Wasserleitung im Boden stellt E. Wollny[1]) auf Grund der Zusammenstellung seiner Beobachtungen folgendes Gesetz auf:

Die Bodenkapillarräume von einer bestimmten Grösse (wahrscheinlich die von 0,05 und 0,10 mm) leiten das Wasser am schnellsten, während einerseits kleinere wegen vermehrten Reibungs- und Adhäsionswiderstandes, den die Bodenpartikel dem Aufsteigen des Wassers entgegenstellen, andererseits grössere wegen der der Kapillarkraft entgegenwirkenden Schwere der gehobenen Wassersäule das Wasser langsamer leiten.

Die oberirdische und unterirdische Wasserzufuhr wirkt auch verschieden auf die Verteilung der Feuchtigkeit in den einzelnen Schichten des Bodens. Entsprechend dem physikalischen Gesetze, dass die Saughöhe in einem kapillaren Raume bestimmt wird durch die Weite desselben, nimmt bei unterirdischer Bewässerung der Wassergehalt eines Bodens von unten nach oben ab, denn je höher das Wasser steigt, desto feiner müssen die Kapillaren sein, welche noch zur Weiterbeförderung desselben dienen können.[2]) Diese Verschiedenheit in dem Feuchtigkeitsgehalt der Bodenschichten ist um so geringer, je mehr Ton und Humus und je weniger Sand der betreffende Boden besitzt.[3]) Bei oberirdischer Wasserzufuhr ist in umgekehrtem Verhältnis wie bei unterirdischer der Wassergehalt eines Bodens, wenn die Ver-

---

1) Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. VII. 1884. S. 293.

2) A. v. Liebenberg, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. I. 1878. S. 16.

3) A. v. Liebenberg, Über das Verhalten des Wassers im Boden. Inaug.-Dissertation. Halle 1873. S. 33.

dunstung in den oberen Schichten gehindert ist, ein von oben nach unten abnehmender, und zwar um so stärker abnehmend, je mehr Sand und je weniger Ton und Humus der Boden enthält.[1])

Wenn nun auch in letzterem Falle durch die Verdunstung allmählich der Wassergehalt der oberen Bodenschichten verringert wird, so geht doch aus obigem hervor, dass die oberirdische Bewässerung zunächst die oberen, die unterirdische die unteren Schichten eines Bodens mehr mit Wasser sättigt. Schliesslich hat die Struktur eines Bodens noch insofern Einfluss auf die kapillare Wasserleitung, als bei unterirdischer Zufuhr das Wasser bei pulverförmigem Zustande des Bodens höher und schneller gehoben wird als bei dem krümeligen, und es bei oberirdischer Zufuhr schneller in diesen eindringt als in den pulverförmigen.[2]) Ferner ist die lockere und dichte Lagerung der Bodenteilchen von Bedeutung für die Leitung des Wassers, indem dieselbe bei Krümelstruktur des Bodens durch Zusammenpressen desselben beschleunigt wird, andererseits das Wasser um so höher steigt und um so langsamer von oben in den Boden eindringt, je dichter dessen Gefüge ist.[3]) Im Boden vorhandene Steine verlangsamen sowohl bei oberirdischer als unterirdischer Wasserzufuhr die kapillare Leitung des Wassers.[4]) Die obigen Ausführungen zeigen, dass die Versuchsböden sich der Leitung des Wassers gegenüber sehr verschieden verhalten müssen. Infolge der grossen Feinheit seiner Partikel sowie des Umstandes, dass die abschlämmbaren Teile grösstenteils aus Kaolin bestehen, muss Boden No. II

---

1) A. v. Liebenberg, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. I. 1878. S. 18.

2) E. Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. VII. 1884. S. 283.

3) E. Wollny, Ebendaselbst. Bd. VII. 1884. S. 289 und Bd. VIII. 1885. S. 206.

4) E. Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. VII. 1884. S. 295 und Bd. VIII. 1885. S. 207.

von den vier zu den Versuchen verwandten Böden die langsamste Wasserleitung besitzen; er hat daher auch die geringste Filtrationsfähigkeit. Demnächst folgt Boden No. III, dessen Bodenteilchen zwar etwas feiner wie die von dem vorhergehenden sind, der zwar einen um ein wenig höheren Humusgehalt und infolge dieser beiden Momente auch eine etwas höhere Wasserkapazität aufweist, bei dem sich jedoch der Umstand geltend macht, dass der Ton von sämtlichen Bodenkonstituenten der Leitung des Wassers am meisten Widerstand leistet. Da sich nun die abschlämmbaren Teile des ersteren Bodens zu einem grossen Teil aus Ton zusammensetzen, die des letzteren dagegen vorwiegend aus Quarz, so folgt daraus, dass die Wasserleitung bei diesem eine schnellere wie bei jenem sein muss, was durch die Filtrationsfähigkeit bestätigt wird. Der Grund, warum Boden No. III das Wasser langsamer leitet wie der Moorboden (No. IV), welcher auch eine grössere Filtrationsfähigkeit wie jener zeigt, ist darin zu suchen, dass die abschlämmbaren Teile desselben auch grössere Beimengungen von Kaolin aufweisen. Dazu kommt, dass, wie oben bereits erwähnt, der Glimmer infolge der flachen Form seiner Bestandteile einen bedeutenden Einfluss auf das Verhalten des Wassers dem Boden gegenüber hat. In betracht zu ziehen ist in bezug auf die verhältnismässig schnelle Wasserleitung des Bodens No. IV, dass derselbe eine durch die Grösse seiner Krümel bedingte lockere Lagerung hatte. In weitem Abstand von den anderen Böden folgt dann Boden No. I, der eine grobe Struktur und weder Ton- noch einen erheblichen Humusgehalt besitzt. Daher ist die Leitung des Wassers bei ihm eine äusserst schnelle und die Filtrationsfähigkeit sehr stark. Auch muss die Verteilung der Feuchtigkeit in seinen einzelnen Schichten aus diesen Gründen grössere Differenzen als bei den anderen Versuchsböden zeigen, auch wird sich der Wassergehalt bei oberirdischer Wasserzufuhr zunächst mehr in den oberen Bodenschichten, bei unterirdischer mehr in den unteren konzentrieren. Diese Er-

scheinung wird bei Boden No. IV, III und II in geringerem Masse zu beobachten sein.

Von weiterer Bedeutung für die Leitung des Wassers ist der Wassergehalt des Bodens. Die kapillare Wasserleitung kann erst dann in einem Boden eintreten, wenn derselbe mehr Wasser enthält, als der Hälfte der grössten Sättigungskapazität entspricht.[1]) Ferner wird das Wasser um so besser kapillar geleitet, je feuchter der Boden ist, was sich daraus erklärt, dass die Flächenattraktion von Seiten der Bodenpartikel, die Adhäsion und die Reibung des Wassers an letzterem, sowie die zur Sättigung der Bodenschichten erforderlichen Wasserquantitäten um so geringer sind, je grösser die Feuchtigkeit ist, welche ein Boden besitzt.[2]) Grenzt eine feuchte und trockene Bodenschicht aneinander, so entzieht die letztere der ersteren durch die feinsten Kapillaren und durch Flächenattraktion einen Teil seines Wassergehalts, doch hört dieser Vorgang ganz auf, sobald die Differenz der Feuchtigkeit in den beiden Schichten zu gering wird. Diese Erscheinung wurde zuerst von J. Nessler[3]) beobachtet, welcher fand, dass, wenn man mit Erde gefüllte Röhren eine zeitlang in Wasser stellt und herausnimmt, nachdem dieses eine gewisse Steighöhe erlangt hat, das Wasser dann noch längere Zeit fortsteigt, eine Tatsache, welche durch die Versuche A. v. Liebenbergs[4]) bestätigt wurde.

Wie oben erwähnt, wurden bei den Versuchsböden drei Wasser-Sättigungsgrade unterschieden: 55%, 60% und 65% der grössten Wasserkapazität der betreffenden Boden-

---

1) C. Eser, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. VII. 1884. S. 41, und W. Schuhmacher, Physik des Bodens. Bd. I. S. 100. Berlin 1864.

2) E. Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. VII. 1884. S. 277.

3) Ebendaselbst. Bd. I. 1878. S. 15.

4) Über das Verhalten des Wassers im Boden. Inaug.-Dissertation. Halle 1873. S. 33.

art. Der niedrigste Grad befand sich also an der Grenze, bei welcher die kapillare Wasserleitung im Boden beginnt, dieselbe wurde stärker bei dem mittleren, und war am besten bei dem letzten Sättigungsgrad.

Ein weiteres Moment, das die kapillare Leitung des Wassers im Boden beeinflusst, ist die Temperatur. Feinkörnige, pulverartige Böden leiten bei höherer Temperatur das Wasser schneller als bei niedriger, grobkörnige dagegen von einer gewissen Höhe ab bei niederer Temperatur schneller als bei hoher.[1]) Das Verdunstungsvermögen, welches bei den Böden in gesättigtem Zustande annähernd gleich ist, bei feuchtem Zustande derselben jedoch erhebliche Unterschiede zeigt,[2]) ist bei Boden No. II am grössten, dann folgt No. III, demnächst No. IV, und am geringsten ist dasselbe bei No. I. Diese Verschiedenheit des Verdunstungsvermögens ist begründet in dem allgemeinen Charakter der Bodenkonstituenten und der Struktur der Böden.[3]) Zwar hat pulverisierter Humus bei weitem das stärkste Verdunstungsvermögen,[3]) doch wenn er, wie Boden No. IV, eine grobe Struktur besitzt, wird er von tonhaltigen, feinerdigen Böden übertroffen, wie aus folgenden Versuchen ersichtlich ist.[4])

Es verdunsteten 400 qcm Oberfläche vom 1. April bis 30. September 1882 bei

Lehm	15718 g
Torf	13216 „
Quarz	7893 „

und vom 5. April bis 30. September 1884 bei

---

1) E. Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. B. VIII. 1885. S. 218.

2) C. Eser, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. VII. 1884. S. 82. — E. Wollny, Landwirtschaftl. Jahrbücher. Bd. V. 1876. S. 457.

3) C. Eser, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. VII. 1884. S. 57. — E. Wollny, Ebendaselbst. Bd. XVI. 1892. S. 384.

4) E. Wollny, Ebendaselbst. Bd. XVIII. 1895. S. 48.

Lehm	14373 g
Torf	11186 „
Quarz	7198 „

Eine grosse Differenz besteht in den Verdunstungsmengen, welche die Gefässe mit oberirdischer und unterirdischer Wasserzufuhr aufweisen. Dies erklärt sich daraus einerseits, dass, wie oben nachgewiesen, bei den auf die erstere Art bewässerten Kästen die Feuchtigkeit sich zunächst mehr in den oberen Schichten, bei den letzteren mehr in den unteren konzentriert und die Verdunstung um so mehr abnimmt, je tiefer die Verdunstungsschicht sich befindet [1]) und je mehr der Boden oberflächlich abgetrocknet ist,[2]) was naturgemäss mehr bei unterirdischer als bei oberirdischer Wasserzufuhr der Fall ist. Andererseits kommt ferner in betracht dabei die Beschaffenheit der Oberfläche. Wenn auch dieselbe bei sämtlichen Gefässen durch Hacken häufig gelockert wurde, so zeigten doch durchschnittlich die von unten bewässerten Gefässe eine lockere, rauhere Oberfläche als die von oben bewässerten, bei denen sich durch Aufgiessen des Wassers immer wieder eine Kruste bildete. Alle diese Momente tragen dazu bei, wie die Versuche von C. Eser[3]) und E. Wollny[4]) beweisen, dass die Verdunstung bei den Gefässen mit oberirdischer Wasserzufuhr ungleich stärker war, wie bei denen mit unterirdischer; es verdunsteten die letzteren bei unseren Versuchen nur bis zu 62,79 % von der Verdunstungsmenge, welche bei der oberirdischen Wasserzufuhr zu beobachten war.

Neben dem Gehalt an Humus und Ton, der Struktur, der Tieflage der Verdunstungsschicht und der Beschaffenheit

1) C. Eser, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik Bd. VII. 1884. S. 45.

2) E. Wollny, Ebendaselbst. Bd. III. 1880. S. 325.

3) Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. VII. 1884. S. 45.

4) Ebendaselbst. Bd. III. 1881. S. 117. — Ebendaselbst. Bd. III. 1881. S. 328.

der Oberfläche ist der Wassergehalt von Einfluss auf die Verdunstung eines Bodens. Diese ist am grössten bei den mit 65% der vollen Wasserkapazität gesättigten Gefässen, am geringsten bei denen zu 55%; in der Mitte stehen diejenigen zu 60%, da ein Boden um so mehr Feuchtigkeit verdunstet, je mehr Wasser er enthält, und Böden mit dem verschiedensten Wassergehalt[1]) in gleicher Zeit ihr sämtliches Wasser verlieren (nach C. Eser).[2]) Die oberirdische und unterirdische Wasserzufuhr beeinflusst weiterhin die Luftkapazität eines Bodens in verschiedener Weise, welche nach Untersuchungen von A. v. Schwarz[3]) betrug bei

Moor (lufttrocken)	. . . .	84,0	Vol. %
Ton	„	52,7	„ „
Lehm	„	45,1	„ „
Sand	„	39,4	„ „

E. Wollny[4]) erhielt bei seinen Versuchen mit pulverförmigem Material folgende Resultate:

Torf (lufttrocken)	. . . .	72,38	Vol. %
Ton	„	57,26	„ „
Lehm	„	52,99	„ „
Quarzsand	„	41,50	„ „

Daraus geht hervor, dass von den Versuchsböden No. IV eine hohe Luftkapazität besitzt, No. II und III eine mittlere und No. I eine geringe. Da die Luftkapazität abnimmt mit der Zunahme des Wassergehalts eines Bodens,[4]) so muss bei oberirdischer Bewässerung gemäss ihrer anfänglichen stärkeren Sättigung zeitweise die obere Schicht, bei unterirdischer die untere dauernd eine niedrigere Luftkapazität besitzen, ebenso wie diese bei den Gefässen mit

1) = wasserfassende Kraft oder Wasserkapazität.

2) C. Eser, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. VII. 1884. S. 48.

3) Erster Bericht über Arbeiten der k. k. landwirtschaftlich-chemischen Versuchsstation in Wien aus den Jahren 1870—1877. Wien 1878. S. 51.

4) E. Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. VIII. 1885. S. 369 und 370.

verschiedenem Wassergehalt entsprechend verschieden sein muss.

Die Permeabilität für Luft ist bei Boden No. II und III am geringsten, dann folgt No. IV und bei weitem am höchsten ist sie bei No. I, was aus folgenden Zahlen[1]) ersichtlich ist. Es förderten an Luft bei einer Schichthöhe des lufttrockenen Bodens von 25 cm, welcher etwa der unserer Gefässe entspricht, einem Durchmesser derselben von 5 cm und einem Druck von 100 mm Wasser:

Kaolin	0,350	Liter pro Stunde
Torf	65,480	„ „ „
Quarzsand (0,25—0,50 mm) . .	143,300	„ „ „

Da bei Boden No. I reichlich 64% aus Sand, der eine Korngrösse von 0,25 0,50 mm hat, bestehen, die übrigen Bestandteile etwa zur Hälfte grösser, zur anderen Hälfte kleiner wie jene sind, so wurde zum Vergleich obige Korngrösse herangezogen. Die Permeabilität für Luft ist bei den Gefässen mit höherem Wassergehalt geringer als bei denen mit niedrigerem und zwar in um so stärkerem Masse, je grösser die Wasserkapazität des betreffenden Bodens ist.[2])

Von erheblichster Bedeutung auf diese Permeabilität ist die Art der Wasserzufuhr. In welcher Weise eine oberirdische Bewässerung die Permeabilität des Bodens für Luft beeinflusst, zeigen folgende Versuche.[3]) Es förderten an Luft in Litern pro Stunde bei Wasserzufuhr von

Bodenart	0 mm (lufttrocken)	10 mm Höhe	30 mm Höhe
Quarzsand (0,25—0,50 mm) . . .	35,825	6,19	4,29
Lehm (0,0—0,25 mm, pulverförmig)	4,00	1,28	0,28
Torf (Oldenburger, > 1,0 mm) . .	16,370	0,20	0,05
Kaolin	0,087	0,00	0,00

1) E. Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. XVI. 1893. S. 201.

2) E. Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. XVI. 1893. S. 217.

3) E. Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. XVI. 1893. S. 220.

Diese Untersuchungen beweisen, dass durch eine oberirdische Wasserzufuhr die Permeabilität der Oberfläche des Bodens für Luft in ganz ausserordentlichem Masse herabgesetzt wird und zwar im Verhältnis zur Menge des Wassers und zum Gehalt der Böden an kolloidalen Substanzen, so dass bei dem Kaolin bereits bei einer Wasserzufuhr von nur 10 mm Höhe völlige Undurchlässigkeit eintritt. Aus den oben genannten Wollny'schen Versuchen geht dann fernerhin hervor: je feinkörniger der Boden ist, desto mehr wird diese Wirkung verstärkt, und je grösser bei Krümelstruktur die Krümel sind, um so mehr wird dieselbe verringert. Bei unterirdischer Wasserzufuhr kann, da das Wasser sich mehr in den unteren Schichten konzentriert, die Luft von oben sehr viel leichter in den Boden eindringen, als dies bei oberirdischer Bewässerung der Fall ist. Umgekehrt verhält es sich mit der Wirkung der Ventilationsvorrichtung der Gefässe, welche oben näher beschrieben ist, indem dieselbe günstiger bei oberirdischer, als bei unterirdischer Wasserzufuhr ist. Wird das von den Gefässen an die Atmosphäre abgegebene Wasser, wie es bei unseren Versuchen geschah, so oft ersetzt, dass die Verdunstungsmenge 10% des normalen Wassergehaltes nicht überschreiten konnte, und das Maximum desselben nur 65% der vollen Wasserkapazität betrug, so ist es ausgeschlossen bei der Wasserzuführung von oben, dass die unter dem Boden sich befindende Kiesschicht mit Wasser angefüllt wird. Durch Tülle und Glasröhren steht sie mit der atmosphärischen Luft in Verbindung und ihre Hohlräume sind daher stets mit feuchter Luft angefüllt. Wird eine zu grosse Menge Wasser auf einmal von oben aufgegeben, so ist die Gefahr vorhanden, dass, abgesehen von den sonstigen schädlichen Einflüssen, dasselbe an den Wänden des Gefässes hinunterläuft, in die Kiesschicht gelangt und somit die günstige Wirkung derselben in bezug auf die Durchlüftung des Bodens aufhebt. Bei der unterirdischen Wasserzufuhr dagegen füllt das Wasser die Kiesschicht an und unterbindet somit die unterirdische Luftzirkulation zeit-

weise vollständig, und zwar wird sich dieser Einfluss um so mehr geltend machen, je langsamer die Wasserleitung des betreffenden Bodens ist. Günstig wirkt in dieser Beziehung der Umstand, dass feinkörnige Bodenschichten gröberen das Wasser entziehen,[1]) daher wird der über dem Kies lagernde Boden jenem das Wasser abzunehmen bestrebt sein, und zwar in um so höherem Grade, je feinkörniger derselbe ist. Diese die Luftzirkulation beeinträchtigende Wirkung der unterirdischen Wasserzufuhr wird gemildert durch die oben erwähnte Ventilationsvorrichtung von O. Kellner, welche durch zwei Glasröhren und Tüllen gebildet wird, die durch einen in die Kiesschicht eingebetteten, siebartig durchlochten Halbcylinder von Eisenblech in Verbindung stehen. Die oberirdische und unterirdische Wasserzufuhr ist ferner von verschiedenem Einfluss auf die Bodenwärme, welche als Quellen die Sonnenwärme, die innere Erdwärme und die infolge chemischer Prozesse oder Absorption von Gasen erzeugte Wärme hat, welch' letztere Momente jedoch gegenüber der Sonnenwirkung völlig zurücktreten. Die Bodenwärme wird beeinflusst durch die Wärmekapazität oder die spezifische Wärme, die Wärmeleitungsfähigkeit und durch das Absorptions- und Emissionsvermögen eines Bodens. Aus den Untersuchungen von R. Ulrich[2]) geht die Wärmekapazität der verschiedenen Bodenarten hervor. Es betrug die auf das Volumen bezogene Wärmekapazität bei Quarz 0,2919, Ton 0,2333 und Humus 0,1644. Von unseren Versuchsböden zeigt demnach No. I die höchste spezifische Wärme, No. III und II stehen in der Mitte, die geringste besitzt No. IV. Mit der Zunahme des Wassergehalts nimmt die Wärmekapazität des Bodens zu.[3])

---

1) A v. Liebenberg, Über das Verhalten des Wassers im Boden. Inaug.-Dissertation. Halle 1873. S. 33.

2) Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. XVII. 1894. S. 1.

3) A. v. Liebenberg, Untersuchungen über die Bodenwärme. Habilitationsschrift Halle 1875. S. 22.

Dieselbe Reihenfolge weisen die Böden in bezug auf die Höhe ihrer Wärmeleitungsfähigkeit auf, wie aus nachstehenden, von F. Wagner[1]) gewonnenen Zahlen ersichtlich ist. Es wurde gefunden in einer 24 cm langem Bodensäule von 10 cm Durchmesser eine mittlere Temperaturzunahme unter sonst gleichen Verhältnissen, wenn jene in dem Quarz = 100 gesetzt wird; bei Humus 80,6, Ton 84,5, Quarz 100,0. Durch steigenden Wassergehalt wird die Wärmeleitungsfähigkeit eines Bodens erhöht.[2]) Das Absorptionsvermögen des Bodens für die leuchtenden Sonnenstrahlen wird bestimmt durch die Farbe, während diese für die eigentlichen Wärmestrahlen, die roten und ultraroten Strahlen des Sonnenspektrums, nicht massgebend ist, über die keine Versuche vorliegen. Vorausgesetzt, dass das Absorptionsvermögen des Bodens keinen Unterschied in bezug auf dunkle und leuchtende Strahlen macht, ist dasselbe um so grösser, je dunkler die Farbe ist. Daher muss von den Versuchsböden No. IV das stärkste Absorptionsvermögen für Wärmestrahlen besitzen, demnächst No. III, das geringste No. I und No. II.

Nach den Untersuchungen von J. Ahr[3]) besitzt Quarz das grösste Emissionsvermögen, das geringste Humus; der Kaolin steht in der Mitte zwischen beiden. Je mehr Wasser ein Boden enthält, um so grösser ist sein Emissionsvermögen, weil Wasser ein höheres Ausstrahlungsvermögen hat als sämtliche Böden. Aus dem Vorstehenden ist die Reihenfolge der Versuchsböden in bezug auf das Emissionsvermögen für die Wärmestrahlen ersichtlich.

Betreffs der Gesamtwirkung der verschiedenen Faktoren der Bodenwärme lehren die Gesetze der Physik, dass ein

---

1) Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. VI. 1883. S. 1. Ferner E. Pott, Die landwirtschaftlichen Versuchsstationen. Bd. XX. 1877. S. 273 u. 321.

2) E. Pott, Ebendaselbst. Bd XX. 1877. S. 339.

3) Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. XVII. 1894. S. 394.

Boden sich um so langsamer erwärmt, je höher seine Wärmekapazität und je geringer seine Wärmeleitungsfähigkeit und sein Absorptionsvermögen ist, und sich um so schneller abkühlt, je geringer seine spezifische Wärme, je besser seine Wärmeleitungsfähigkeit und je grösser sein Emissionsvermögen ist.

Wie oben dargetan wurde, ist die Verdunstung bei oberirdischer Wasserzufuhr bedeutend grösser als bei unterirdischer. Da nun zum Verdunsten des im Boden enthaltenen Wassers Wärme verbraucht wird, so kommt diese Wärmemenge in Abzug von dem Quantum, welches für die Erwärmung des Bodens zur Verfügung steht. Es muss mithin notwendigerweise eine Deprimierung der Bodentemperatur stattfinden, und die Bodenwärme muss bei oberirdischer Wasserzufuhr geringer sein als bei unterirdischer. Dies bestätigen folgende Beobachtungen E. Wollny's.[1]) Es betrug in der Zeit vom 15. bis 23. Juni 1875

Mittlere Lufttemperatur.	Mittlere Temperatur des Bodens in der Oberfläche.	
	Torf.	
	Nass	Feucht
16,69° C	16,83° C	17,43° C

und vom 2. bis 9. Juli 1875:

	Nass	Lufttrocken
19,73° C	22,11° C	24,63° C.

Da nun mit der Zunahme des Wassergehalts, wie oben nachgewiesen, die Verdunstung zunimmt, so zeigen die vorstehenden Zahlen, dass die Temperatur des Bodens steigt, wenn die Verdunstung geringer wird.

---

1) Landwirtschaftliche Jahrbücher. Bd. V. 1876. S. 441. Vergl. auch E. Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. IV. 1881. S. 190.

In bezug auf die Absorption der Pflanzennährstoffe durch den Boden ist die Differenzierung der Wasserzufuhr insofern von Bedeutung als, wie durch O. Kellner hervorgehoben wurde, bei der oberirdischen Bewässerung die Gefahr besteht, dass die Nährstoffe zum Teil in den Untergrund gewaschen werden und somit mehr oder weniger für die Pflanzen verloren gehen. Diese Möglichkeit würde durch die unterirdische Wasserzufuhr ausgeschlossen werden. Nach den Untersuchungen von Knop[1]) besitzt von den drei Bodenkonstituenten Humus, Ton und Quarz ersterer das grösste Absorptionsvermögen für Pflanzennährstoffe, letzterer das geringste, Ton steht in der Mitte. Demnach war bei unseren Versuchsböden die Gefahr einer Auswaschung der Nährstoffe am grössten bei No. I, geringer bei No. III und II, am geringsten bei No. IV.

In welchem Verhältnis die oben dargelegten Wirkungen oberirdischer und unterirdischer Wasserzufuhr die Pflanzenproduktion bei unseren Versuchen beeinflusst haben, ist im Folgenden zu untersuchen.

Die Ernte-Resultate sind aus nachstehen Tabellen ersichtlich:

---

1) Bonitierung der Ackererde. Leipzig 1872. S. 79.

Nr. des Versuchsgefässes	Boden	Wasserkapazität	Lufttrockene Substanz		Absolute Trockensubstanz		Durchschnittserträge der Parallel-Gefässe		Maximalerträge der Parallel-Gefässe		Durchschn.-Ertr., wenn d. Ertr. b. oberird. W.-Z. = 100 gesetzt wird		Mehr- oder Minder-Ertr. d. oberird. W.-Z. gegen d. unterird. in Prozenten
			a) Oberird. W.-Zufuhr g	b) Unterird. W.-Zufuhr g	a) Oberird. W.-Zufuhr g	b) Unterird. W.-Zufuhr g	a) Oberird. W.-Zufuhr g	b) Unterird. W.-Zufuhr g	a) Oberird. W.-Zufuhr g	b) Unterird. W.-Zufuhr g	a) Oberird. W.-Zufuhr g	b) Unterird. W.-Zufuhr g	
1	No. I	55 %	27,29		25,041								
2	„	„	21,37[1]		19,357		25,041		25,041		100,00		— 8,57
3	„	„		27,67		25,014							
4	„	„		31,86		29,359		27,186		29,359		108,57	
5	„	60 %	32,10		29,615								
6	„	„	30,49		27,926		28,770		29,615		100,00		+ 0,16
7	„	„		22,31[1]		20,568							
8	„	„		30,90		28,725		28,725		28,725		99,84	
9	„	65 %	31,11		28,967								
10	„	„	20,87[1]		19,248		28,967		28,967		100,00		+ 1,64
11	„	„		32,16		29,864							
12	„	„		29,91		27,119		28,492		29,864		98,36	
13	No. II	55 %	26,10[1]		23,654								
14	„	„	40,77		37,424		37,424		37,424		100,00		+ 32,00
15	„	„		29,72		27,161							
16	„	„		26,15		23,734		25,448		27,161		68,00	
17	„	60 %	32,86		30,043								
18	„	„	31,39		28,593		29,318		30,043		100,00		— 3,16
19	„	„		31,83		28,876							

1) Durch die Getreideblattlaus, Aphis cerealis geschädigt; es wurden daher bei diesen Gefässen in den Rubriken „Durchschnittserträge“ statt dieser die Maximalerträge eingesetzt.

Tabelle I: **Ernte-Erträge des Hafers.**

Nr. des Versuchsgefässes	Boden	Wasserkapazität	Lufttrockene Substanz		Absolute Trockensubstanz		Durchschnittserträge der Parallel-Gefässe		Maximalerträge der Parallel-Gefässe		Durchschn.-Ertr., wenn d. Ertr. b. oberird. W.-Z. = 100 gesetzt wird		Mehr- oder Minder-Ertr. d. oberird. W.-Z. gegen d. unterird. in Prozenten
			a) Oberird. W.-Zufuhr g	b) Unterird. W.-Zufuhr g	a) Oberird. W.-Zufuhr g	b) Unterird. W.-Zufuhr g	a) Oberird. W.-Zufuhr g	b) Unterird. W.-Zufuhr g	a) Oberird. W.-Zufuhr g	b) Unterird. W.-Zufuhr g	a) Oberird. W.-Zufuhr g	b) Unterird. W.-Zufuhr g	
20	No. II	60 %		35,10		32,081		30,479		32,081		103,16	
21	„	65 %	30,41[1]		27,484								
22	„	„	41,57		37,879		37,879		37,879		100,00		+ 10,70
23	„	„		36,23		33,060							
24	„	„		37,75		34,594		33,827		34,594		89,30	
25	No. III	55 %	34,60		31,507								
26	„	„	33,46		30,462		30,985		31,507		100,00		+ 12,16
27	„	„		29,83		27,029							
28	„	„		29,98		27,404		27,216		27,404		87,84	
29	„	60 %	32,90[1]		30,846								
30	„	„	41,59		38,013		38,013		38,013		100,00		+ 32,50
31	„	„		25,92		23,623							
32	„	„		30,30		27,697		25,660		27,697		67,50	
33	„	65 %	23,05		20,752								
34[2]	„	„					20,752		20,752		100,00		+ 10,00
35[2]	„	„											
36	„	„		20,72		18,677		18,677		18,677		90,00	
37	No. IV	55 %	17,51[1]		15,729								
38	„	„	22,22		20,087		20,087		20,087		100,00		— 39,47
39	„	„		15,22[1]		13,830							
40				30,26		28,018		28,018		28,018		139,47	

43	„	„		30,97		28,725							
44	„	„		25,11		22,709		28,725		28,725		125,55	— 25,55
45	„	65 %	30,90		28,641								
46	„	„	27,46		25,106		26,874		28,641		100,00		
47	„	„		36,14		33,422							
48	„	„		24,74[1])		22,471		33,422		33,422		124,37	— 24,37

1) Durch die Getreideblattlaus, Aphis cerealis geschädigt; es wurden daher bei diesen Gefässen in den Rubriken „Durchschnittserträge“ statt dieser die Maximalerträge eingesetzt

2) Durch Versuchsstörung ausgefallen.

Tabelle II: **Ernte-Erträge des Senfes.**

No. des Versuchsgefässes	Boden	Wasserkapazität	Lufttrockene Substanz		Absolute Trockensubstanz		Durchschnittserträge der Parallel-Gefässe		Maximalerträge der Parallel-Gefässe		Durchschnitts-Ertr., wenn der Ertr. b. oberird. Wasser-Zufuhr = 100 gesetzt wird.		Mehr- oder Minder-Ertr. d. oberird. W.-Z gegen die unterird. in Prozenten
			a) Oberird. W.-Zufuhr g	b) Unterird. W.-Zufuhr g	a) Oberird. W.-Zufuhr g	b) Unterird. W.-Zufuhr g	a) Oberird. W.-Zufuhr g	b) Unterird. W.-Zufuhr g	a) Oberird. W.-Zufuhr g	b) Unterird. W.-Zufuhr g	a) Oberird. W.-Zufuhr g	b) Unterird. W.-Zufuhr g	
49	No. I	55 %	6,79		6,132								
50	„	„	7,92		7,188		6,600		7,188		100,00		
51	„	„		6,47		5,826							+ 10,97
52	„	„		6,58		5,927		5,876		5,927		89,03	
53	„	60 %	7,26		6,569								
54	„	„	7,60		6,882		6,726		6,882		100,00		
55	„	„		6,73		6,128							+ 9,25
56	„	„		6,70		6,080		6,104		6,128		90,75	
57	„	65 %	7,76		7,080								

Tabelle II: **Ernte-Erträge des Senfes.**

No. des Versuchsgefässes	Boden	Wasser-kapazität	Lufttrockene Substanz		Absolute Trockensubstanz		Durchschnitts-erträge der Parallel-Gefässe		Maximalerträge der Parallel-Gefässe		Durchschnitts-Ertr., wenn der Ertr. b. oberird. Wasser-Zufuhr = 100 gesetzt wird.		Mehr- oder Minder-Ertr. d. oberird. W.-Z gegen die unterird. in Prozenten
			a) Oberird. W.-Zufuhr g	b) Unterird. W.-Zufuhr g	a) Oberird. W.-Zufuhr g	b) Unterird W.-Zufuhr g	a) Oberird. W.-Zufuhr g	b) Unterird. W.-Zufuhr g	a) Oberird. W.-Zufuhr g	b) Unterird. W.-Zufuhr g	a) Oberird. W.-Zufuhr g	b) Unterird. W.-Zufuhr g	
58	No. I	65 %	8,09		7,364		7,222		7,364		100,00		
59	„	„		6,76		6,197							+ 10,70
60	„	„		7,37		6,707		6,449		6,707		89,30	
61	No. II	55 %	10,92		9,864								
62	„	„	9,89		8,964		9,414		9,864		100,00		
63	„	„		11,16		10,055							— 3,45
64	„	„		10,46		9,424		9,739		10,055		103,45	
65	„	60 %	8,90		8,027								
66	„	„	9,97		8,985		8,506		8,985		100,00		
67	„	„		11,68		10,526							— 21,13
68	„	„		11,21		10,079		10,303		10,526		121,13	
69	„	65 %	11,44		10,111								
70	„	„	9,79		8,654		9,383		10,111		100,00		
71	„	„		9,20		8,079							+ 8,77
72	„	„		10,20		9,042		8,560		9,042		91,23	
73	No. III	55 %	3,77[1])		3,429								
74	„	„	5,75		5,226		5,226		5,226		100,00		
75	„	„		5,57		5,063							+ 11,70
76	„	„		5,70		5,211		5,137		5,211		98,30	
77	„	60 %	6,35		5,787								

79	No. III	60 %		5,10		4,654							+ 19,58
80	„	„		2,91[1]		2,623		4,654		4,654		80,42	
81	„	65 %	7,30[1]		6,652								
82	„	„	5,01		4,564		6,652		6,652		100,00		
83	„	„		6,39		5,833							+ 12,31
84	„	„		5,07[1]		4,619		5,833		5,833		87,69	
85	No. IV	55 %	21,55		20,094								
86	„	„	20,99		19,009		19,552		20,094		100,00		
87	„	„		21,87		19,924							+ 11,18
88	„	„		20,16		18,721		19,322		19,924		98,82	
89	„	60 %	16,94		15,248								
90	„	„	14,81		13,453		14,350		15,248		100,00		
91	„	„		15,06		13,546							+ 6,65
92	„	„		14,55		13,246		13,396		13,546		93,35	
93	„	65 %	13,65		12,408								
94	„	„	17,11		15,326		15,329		15,329		100,00		
95	„	„		17,45		15,864							— 5,04
96	„	„		18,06		16,341		16,102		16,341		105,04	

1) Einige Pflanzen fehlten, resp. waren zurückgeblieben; infolge dessen wurden bei diesen Gefässen in den Rubriken „Durchschnittserträge“ statt dieser die Maximalerträge zum Vergleich herangezogen.

Die Differenzen der Parallelgefässe vom Mittel, abgesehen von denen, die eine Schädigung durch besondere Umstände aufweisen, bewegen sich, wie aus Tabelle I und II hervorgeht, zwischen 0,3935 und 8,6735 Prozent. Derartige Abweichungen, wie die letztgenannten, die auf nichtkontrollierbare Einwirkungen zurückzuführen sind, lassen sich bei der Versuchsmethode in Kulturgefässen häufig nicht vermeiden, was auch manche Versuche von P. Wagner[1]) zeigen, wo die Differenzen vom Mittel der Parallelgefässe bis zu 9,2 % betragen. Daher sind die Unterschiede der einzelnen Ernteresultate, soweit dieselben nur eine Höhe bis zu 8—9% erreichen, unberücksichtigt gelassen. Abweichungen, welche diese Grenze überschreiten, zeigen sich bei der kleineren Hälfte der Versuche, es ist bei dem grössten Teile derselben die quantitave Pflanzenproduktion bei oberirdischer und unterirdischer Wasserzufuhr die gleiche gewesen. Die genannten Unterschiede treten in höherem Grade auf bei dem Hafer, als bei dem Senf, und fallen zum grösseren Teil zu Gunsten der oberirdischen und zum kleineren zu Gunsten der unterirdischen Wasserzufuhr aus.

Werfen wir zunächst einen Blick auf die Resultate beim Hafer (Tabelle I), so zeigt sich bei Boden No. II und III eine entschiedene Überlegenheit der oberirdischen, bei Boden No. IV der unterirdischen Wasserzufuhr, während bei Boden No. I erhebliche Unterschiede nicht vorhanden waren. Im Durchschnitt der sämtlichen Versuche einer jeden Bodenart wurde geerntet an absoluter Trockensubstanz:

Boden No. I

bei oberird. Wasserzufuhr = 27,593 g = 100,00
bei unterird. „ = 28,149 „ = 102,01
Minder-Ertrag der oberird. Wasserzufuhr = 2,01 %

1) Landwirtschaftliche Jahrbücher von H. Thiel. 1883. S. 691.

Boden No. II

bei oberird. Wasserzufuhr = 34,874 g = 100,00
bei unterird. „ = 29,918 „ = 85,79
Mehr-Ertrag der oberird. Wasserzufuhr = 14,21 %

Boden No. III

bei oberird. Wasserzufuhr = 29,917 g = 100,00
bei unterird. „ = 23,851 „ = 79,72
Mehr-Ertrag der oberird. Wasserzufuhr = 20,28 %

Boden No. IV

bei oberird. Wasserzufuhr = 23,281 g = 100,00
bei unterird. „ = 30,155 „ = 129,52
Minder-Ertrag der oberird. Wasserzufuhr = 29,52 %

Die Widerstände, welche die Böden der Wasserentnahme durch die Pflanzenwurzeln entgegenstellen, nehmen zu mit der Feinheit der Partikel und dem Gehalt an Kolloidsubstanzen,[1]) weil die kapillaren Hohlräume das Wasser mehr zurückhalten als die nichtkapillaren, eine Erscheinung, welche offenbar nicht nur von Einfluss mit Rücksicht auf die verschiedenen Bodenarten, sondern auch mit Rücksicht auf die Art der Wasserzufuhr ist, indem, wie oben dargelegt, die Aufnahme und Verteilung des Wassers im Boden bei oberirdischer und unterirdischer Wasserzufuhr eine verschiedene ist.

Den Hauptumstand aber, warum sich Boden II und III gegenüber der Art der Wasserzufuhr anders als Boden IV und I verhalten haben, möchten wir darin suchen, dass die Permeabilität der beiden erstgenannten Böden für Luft derjenigen der letzteren erheblich nachsteht, wie weiter oben nachgewiesen wurde, in bezug auf Boden IV mit Rücksicht darauf besonders, dass die Struktur dieses Moorbodens eine sehr grobe war, indem ein grosser Teil der Partikel eine

1) E. Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. XV. 1892. S. 432.

Grösse von fast 5 mm besass. Wenn auch bei der oberirdischen Wasserzufuhr, wie oben ausgeführt, die Oberfläche des Bodens für Luft zeitweise impermeabeler wird als bei der unterirdischen Wasserzufuhr, so dürfte doch dieses Moment durch das teilweise Versagen der Ventilationsvorrichtung bei der letzteren Bewässerungsart weit überholt werden. Bei Boden IV kommt noch hinzu, dass wegen des Charakters dieses Bodens die Wasserverteilung bei unterirdischer Zufuhr eine bessere sein dürfte als bei oberirdischer.

In bezug auf den Wassergehalt des Bodens zeigten sich folgende Resultate. Es betrug im Durchschnitt sämtlicher Hafer-Versuche die Erntemenge eines Vegetationsgefässes (absolute Trockensubstanz) bei einem Wassergehalt des Bodens von:

55% der Wasserkapazität

bei oberird. Wasserzufuhr = 28,384 g = 100,00
bei unterird. „ = 26,967 „ = 95,01
Mehr-Ertrag der oberird. Wasserzufuhr = 4,99%

60% der Wasserkapazität

bei oberird. Wasserzufuhr = 29,746 g = 100,00
bei unterird. „ = 28,409 „ = 95,51
Mehr-Ertrag der oberird. Wasserzufuhr = 4,49%

65% der Wasserkapazität

bei oberird. Wasserzufuhr = 28,618 g = 100,00
bei unterird. „ = 28,605 „ = 99,95
Mehr-Ertrag der oberird. Wasserzufuhr = 0,05%

Mithin war der Mehr-Ertrag der oberirdischen Wasserzufuhr bei dem niedrigsten Wassergehalt am höchsten und nahm ab mit der Zunahme desselben, das Optimum des Wassergehalts war bei oberirdischer Wasserzufuhr 60%, bei unterirdischer 65% der grössten Wasserkapazität.

Im Gesamt-Durchschnitt der mit Hafer angestellten Versuche wurde pro Vegetationsgefäss folgendes Ernteresultat (absolute Trockensubstanz) erzielt:

bei oberird. Wasserzufuhr = 28,916 g = 100,00
bei unterird. „ = 27,989 „ = 96,79
Mehr-Ertrag der oberird. Wasserzufuhr = 3,21 %

Bei den mit Senf angestellten Versuchen, deren Resultate aus Tabelle II hervorgehen, hoben sich bei Boden No. IV und teilweise bei No. II die Wirkungen oberirdischer und unterirdischer Wasserzufuhr in ihrem Einfluss auf die Planzenproduktion auf, bei Boden No. I und III war die oberirdische erheblich günstiger, bei Boden No. II teilweise die unterirdische. Die Durchschnittsresultate (absolute Trockensubstanz) der verschiedenen Böden waren folgende:

Boden No. I

bei oberird. Wasserzufuhr = 6,849 g = 100,00
bei unterird. „ = 6,143 g = 89,69
Mehr-Ertrag der oberird. Wasserzufuhr = 10,31 %

Boden No. II

bei oberird. Wasserzufuhr = 9,101 g = 100,00
bei unterird. „ = 9,534 „ = 104,76
Minder-Ertrag der oberird. Wasserzufuhr = 4,76 %

Boden No. III

bei oberird. Wasserzufuhr = 5,888 g = 100,00
bei unterird. „ = 5,208 „ = 88,45
Mehr-Ertrag der oberird. Wasserzufuhr = 11,55 %

Boden No. IV

bei oberird. Wasserzufuhr = 16,410 g = 100,00
bei unterird. „ = 16,273 „ = 99,16
Mehr-Ertrag der oberird. Wasserzufuhr = 0,84 %

Die gleiche Wirkung wie bei den Hafer-Versuchen hat die oberirdische und unterirdische Wasserzufuhr demnach bei Boden No. III gehabt, wo in beiden Fällen ein erheblicher Mehr-Ertrag der ersteren Art der Bewässerung zu verzeichnen war. Bei Boden No. IV und II waren die Resultate im Durchschnitt annähernd gleich, bei den Hafer-Versuchen lieferte die erstere Bodenart einen Mehr-Ertrag für die unterirdische, Boden No. II für die oberirdische Wasserzufuhr. Boden No. I zeigte einen bedeutenden Mehr-Ertrag bei der oberirdischen Wasserzufuhr, an Hafer wurde dagegen bei beiden Bewässerungsarten etwa die gleiche Quantität geerntet. Auch in bezug auf die Höhe der Differenzen weisen die Hafer- und Senf-Versuche Unterschiede auf, indem die durchschnittlichen Differenzen bei den ersteren bis 29,52%, bei den letzteren nur bis 11,55% ansteigen. Während bei dem Hafer der Mehr-Ertrag der oberirdischen Wasserzufuhr gegenüber der unterirdischen abnahm mit der Zunahme des Wassergehalts der Böden, ist bei den Senf-Versuchen das Umgekehrte der Fall, indem mit dem Wassergehalt auch der Mehr-Ertrag der oberirdischen Wasserzufuhr stieg, wie aus folgenden Zahlen hervorgeht. Im Durchschnitt sämtlicher Senf-Versuche betrug die Ernte-quantität eines Kulturgefässes in absoluter Trockensubstanz bei einem Wassergehalt von:

55% der Wasserkapazität

bei oberird. Wasserzufuhr = 10,198 g = 100,00
bei unterird. „ = 10,019 „ = 98,24
Mehr-Ertrag der oberird. Wasserzufuhr = 1,76%

60% der Wasserkapazität

bei oberird. Wasserzufuhr = 8,842 g = 100,00
bei unterird. „ = 8,614 „ = 97,42
Mehr-Ertrag der oberird. Wasserzufuhr = 2,58%

65% der Wasserkapazität

bei oberird. Wasserzufuhr = 9,647 g = 100,00
bei unterird. „ = 9,237 „ = 95,75
Mehr-Ertrag der oberird. Wasserzufuhr = 4,25%

Das Optimum des Wassergehalts war demnach sowohl bei oberirdischer, als unterirdischer Wasserzufuhr 55% der grössten Wasserkapazität.

Im Durchschnitt sämtlicher Senf-Versuche lieferte ein Vegetationsgefäss folgenden Ertrag (absolute Trockensubstanz):

bei oberird. Wasserzufuhr = 9,511 g = 100,00
bei unterird. „ = 9,290 „ = 97,67
Mehr-Ertrag der oberird. Wasserzufuhr = 2,33%

Es hat somit die unterirdische Wasserzufuhr bei den Senf-Versuchen relativ günstiger als bei den Hafer-Versuchen abgeschnitten. Der Unterschied ist aber nicht beträchtlich. In bezug auf diese bei Hafer und Senf teilweise verschiedenartige Wirkung oberirdischer und unterirdischer Wasserzufuhr kommen vor allem die verschiedenen Witterungs- und Temperatur-Verhältnisse während der Vegetationsperioden der beiden Pflanzen in betracht, wie sie aus nachfolgenden Tabellen ersichtlich sind.

Die meteorologischen Beobachtungen wurden ausgeführt von Herrn Professor Dr. P. Holdefleiss, Vorsteher der Abteilung für Meteorologie und Pflanzenzüchtung am landwirtschaftlichen Institut der Universität Halle, und zwar an der Wetterwarte des landwirtschaftlichen Instituts. Die Beobachtungsresultate wurden mir für diese Arbeit zur Verfügung gestellt.

Herrn Prof. Dr. P. Holdefleiss, sowie auch Herrn Privatdozent Dr. Bode gestatte ich mir an dieser Stelle für die mancherlei Ratschläge, die sie mir zu Teil werden liessen, meinen besten Dank zu sagen.

Juni 1902 Datum	Luftdruck auf 0° und Normalschwere reduziert	Temperatur-Extreme (abgelesen 9p) Max.	Min.	Trockenes Thermometer Tagesmittel 7a, 2p 9p	Relative Feuchtigkeit Tagesmittel 7a, 2p, 9p	Bewölkung 0—10 Tagesmittel 7a, 2p, 9p	Niederschlags-Höhe 7a	Verdunstung nach Wild mm	Sonnenschein Vorm.	Nachm.	Tagessumme	Insolationsmaximum-Thermometer
1	750,5	30,3	13,5	22,0	52	3,0	—	9,9	6,35	7,50	13,85	50,9
2	54,1	32,0	15,3	24,9	50	1,3	—	12,8	7,00	7,20	14,20	52,7
3	56,3	30,3	17,1	23,2	48	0,7	—	14,6	7,45	7,25	14,70	51,5
4	53,7	30,0	15,2	23,3	59	0,7	—	14,1	7,35	7,20	14,55	50,3
5	51,3	23,7	15,5	17,6	75	7,0	—	5,7	5,30	0,10	5,40	42,5
6	48,9	20,6	13,1	15,7	57	5,7	6,2	13,8	5,30	3,85	9,15	44,5
7	41,7	16,9	12,1	14,0	91	9,7	0,1	1,7	—	—	—	37,4
8	40,4	17,3	9,9	12,5	67	5,0	3,6	9,7	4,50	4,70	9,20	43,9
9	43,0	17,7	10,1	12,8	72	7,0	0,4	6,7	1,40	4,10	5,50	42,9
10	45,0	15,0	9,6	11,2	79	6,7	1,0	1,4	0,15	0,60	0,75	31,7
11	49,3	19,2	5,6	12,6	56	4,0	2,5	8,4	5,85	5,85	11,70	46,3
12	46,8	23,4	8,0	16,9	60	5,3	—	6,8	7,30	4,95	12,25	46,1
13	45,1	22,1	12,4	16,7	64	8,0	1,3	7,1	1,40	2,15	3,55	46,6
14	46,6	17,3	12,0	12,8	83	10,0	4,7	3,1	—	—	—	24,3
15	47,5	19,8	9,3	13,1	73	1,7	15,7	21,5(?)	6,00	5,80	11,80	43,1
16	49,4	17,6	7,8	12,5	65	4,3	0,2	5,6	5,30	1,35	6,65	37,1
17	50,6	18,5	8,3	12,6	80	8,0	—	3,8	3,75	—	3,75	39,3
18	52,5	20,5	11,4	15,5	74	6,3	13,3	11,9	1,25	3,10	4,35	43,0
19	51,8	18,9	11,2	13,3	73	5,3	3,0	7,0	2,20	7,45	9,65	42,2
20	46,0	21,8	8,1	16,2	62	3,7	—	6,7	6,65	2,50	9,15	44,2
21	48,9	20,6	13,5	15,8	79	8,7	3,0	4,4	1,40	0,90	2,30	47,2
22	54,7	20,5	13,7	15,4	81	7,0	2,1	1,9	0,10	2,80	2,90	46,1
23	56,0	22,3	12,5	17,6	71	7,3	4,0	10,8	2,40	5,10	7,50	44,1
24	56,2	22,6	14,3	16,3	68	6,0	—	7,6	3,70	4,40	8,10	44,6
25	59,1	22,2	11,9	15,9	57	3,7	2,5	10,9	4,05	7,55	11,60	46,0
26	60,9	24,0	8,1	15,6	60	0,3	—	11,0	7,90	7,60	15,50	43,9
27	61,1	28,4	10,2	20,0	51	1,0	—	9,7	7,65	7,35	15,00	47,9
28	59,4	29,4	14,2	21,9	63	1,0	—	9,6	7,55	7,55	15,10	48,0
29	54,0	31,7	16,3	24,3	49	0,7	—	12,6	7,55	7,60	15,15	51,3
30	52,6	31,8	17,7	24,8	55	2,7	—	10,8	7,15	4,80	11,95	52,0
Monats-Summe	1533,6	686,4	357,9	506,7	1972	141,7	63,6	261,6	133,95	131,30	265,25	1331,6
Monats-Mittel	751,1	22,9	11,9	11,9	66	4,7	—	8,7	4,47	4,38	8,84	44,4

Juli Datum	Luftdruck auf 0° und Normalschwere reduziert	Temperatur-Extreme (abgelesen 9 p)		Trockenes Thermometer Tagesmittel 7 a, 2 p, 9 p	Relative Feuchtigkeit Tagesmittel 7 a, 2 p, 9 p	Bewölkung 0—10 Tagesmittel 7 a, 2 p, 9 p	Niederschlags Höhe 7 a	Verdunstung nach Wild mm	Sonnenschein			Insolations-maximum-Thermometer
		Max.	Min.						Vorm.	Nachm.	Tages-summe	
1	748,4	25,4	18,8	19,6	77	7,0	—	3,4	2,30	1,65	3,95	50,7
2	51,5	19,9	11,8	13,4	69	6,0	3,4	8,0	0,15	5,25	5,40	44,0
3	58,9	19,2	7,6	13,5	60	6,3	1,3	7,0	2,60	3,65	6,25	44,8
4	57,7	22,4	10,3	17,4	59	7,0	—	7,0	3,65	2,80	6,45	47,7
5	54,9	20,4	14,5	15,7	75	7,0	2,3	4,7	—	1,95	1,95	35,1
6	57,9	21,5	9,5	14,0	68	4,3	0,1	6,7	1,15	6,85	8,00	44,5
7	54,4	27,7	9,7	20,2	56	4,3	—	8,2	7,30	5,55	12,85	48,5
8	54,1	21,1	14,8	17,4	69	9,7	—	5,6	1,10	—	1,10	42,6
9	49,5	19,9	14,5	17,4	91	9,7	2,8	1,2	—	—	—	34,7
10	41,8	23,3	16,7	18,5	64	6,0	7,5	16,4 (?)	3,20	5,90	9,10	29,4
11	44,9	18,0	12,2	13,8	69	7,3	0,08	8,9	0,40	1,20	1,60	41,3
12	55,9	17,7	11,1	12,5	68	5,3	1,0	8,6	1,50	3,55	5,05	40,5
13	57,3	22,4	7,8	16,5	60	7,7	0,3	7,0	2,05	4,60	6,65	44,5
14	55,1	26,8	13,6	19,5	68	8,0	—	6,2	2,65	3,35	6,00	49,6
15	54,0	27,0	14,2	20,6	64	1,7	—	8,4	6,85	6,90	13,75	49,7
16	51,0	29,0	15,4	22,1	58	0,7	—	10,2	5,80	7,00	12,80	49,0
17	50,3	24,0	15,7	18,1	77	9,0	0	0,9	2,85	—	2,85	44,3
18	52,1	25,5	12,0	17,3	68	6,0	4.0	10,0	4,75	4,25	9,00	46,7
19	50,5	19,3	13,6	15,0	70	7,0	4,6	6,8	2,80	2,70	5,50	45,1
20	48,7	20,0	11,8	14,6	76	6,7	0,5	3,2	5,15	0,30	5,45	40,2
21	47,3	21,4	10,8	16,3	74	7,7	8,0	10,5	3,90	5,05	8,95	45,4
22	51,1	18,5	12,6	14,1	75	8,0	34,8	35,0 (?)	0,15	3,30	3,45	41,8
23	51,4	17,3	10,9	12,9	84	9,3	1,9	5,5	0,95	0,60	1,55	40,0
24	52,1	21,3	9,8	16,5	69	7,3	2,8	8,0	4,40	2,25	6,65	47,3
25	52,2	24,5	14,0	17,3	74	3,0	—	6,1	3,10	3,35	6,45	47,4
26	50,1	29,5	12,5	22,4	60	4,0	0	9,0	6,40	6,40	12,80	49,1
27	48,6	27,0	17,4	22,0	57	3,7	2,9	13.9	6,80	5,15	11,95	50,2
28	55,4	20,9	13,9	14,4	71	2,3	—	6,4	4,70	3,20	7,90	42,6
29	56,7	21,8	9,2	15,7	69	6,3	2,4	8,9	3,45	4,35	7,80	45,0
30	55,9	21,6	12,2	16,3	66	6,3	—	7,0	3,70	2,25	5,95	45,6
31	53,6	21,3	12,7	15,5	71	9,3	0,9	5,4	0,55	1,65	2,20	46,0
Monats-Summe	1623,5	695,6	391,6	520,3	2137	194,0	81,58	219,1	94,35	105,00	199,35	1373,3
Monats Mittel	752,4	22,4	12,6	16,8	76	6,3	—	7,1	3,04	3,39	6,43	44,3

Aug. Datum	Luftdruck auf 0° und Normalschwere reduziert	Temperatur-Extreme (abgelesen 9 p)		Trockenes Thermometer Tagesmittel 7a, 2p, 9p	Relative Feuchtigkeit Tagesmittel 7a, 2p, 9p	Bewölkung 0—10 Tagesmittel 7a, 2p, 9p	Niederschlags Höhe 7a	Verdunstung nach Wild mm	Sonnenschein			Insolationsmaximum-Thermometer
		Max.	Min.						Vorm.	Nachm.	Tagessumme	
1	756,1	21,0	9,6	14,4	57	1,3	—	7,2	6,90	7,00	13,90	45,1
2	52,1	15,1	10,2	11,8	86	10,0	—	0,4	—	—	—	23,2
3	51,3	18,2	11,2	13,9	79	7,3	7,4	11,2	2,55	1,95	4,50	42,5
4	51,6	20,8	10,8	16,0	67	6,3	0,1	6,3	5,15	0,55	5,70	41,7
5	51,4	17,6	13,2	14,6	87	9,0	2,1	0,1	—	0,20	0,20	26,7
6	53,5	19,9	10,0	15,7	83	7,3	4,4	7,6	1,65	0,35	2,00	38,3
7	48,2	25,6	14,5	18,0	82	6,3	0,5	6,3	3,35	2,15	5,50	45,6
8	48,6	26,4	14,0	18,3	77	8,3	7,9	14,0	2.40	4,40	6,80	47,3
9	52,7	19,1	12,7	13,7	66	8,0	2,1	11,2	2,10	2,50	4,60	43,2
10	52,0	19,1	9,9	13,6	70	9,3	0,4	6,2	1,45	1,05	2,50	40,6
11	50,1	18,3	10,6	12,4	63	5,3	0,6	7,7	3,95	4,50	8,45	42,1
12	50,6	17,0	7,2	12,0	66	8,0	0	5,0	2,25	1,65	3,90	37,6
13	50,7	16,4	10,0	11,8	79	7,3	3,5	6,7	2,95	2,40	5,35	41,9
14	50,5	18,2	9,3	13,5	69	6,7	1,0	5,5	3,05	4,30	7,35	38,2
15	52,5	17,1	8,5	12,2	64	5,0	—	4,8	1,20	3,90	5,10	41,0
16	50,5	24,0	7,9	16,9	57	5,7	—	8,4	4,35	4,15	8,50	47,1
17	47,4	21,1	12,0	16,6	86	9,0	0,2	0,2	—	1,60	1,60	46,5
18	51,5	23,3	14,6	16,6	79	5,7	4,8	11,6	2,85	5,70	8,55	52,2
19	48,8	29,0	15,3	19,7	71	7,3	2,2	7,5	1,95	1,55	3,50	47,6
20	48,5	23,4	15,4	17,0	77	7,7	7,7	11,5	4,10	0,60	4,70	48,4
21	53,3	19,9	11,7	13,8	72	4,7	2,4	9,4	3,30	4,20	7,50	41,9
22	59,1	19,0	10,9	13,4	70	7,7	0,2	4,7	3,15	3,25	6,40	43,9
23	57,9	21,4	6,8	14,7	64	1,0	—	4,9	5,50	6,20	11,70	41,8
24	52,3	25,4	10,4	18,5	59	5,3	—	7,1	5,05	3,70	8,75	46,0
25	51,0	21,3	14,6	16,7	83	9,7	—	3,2	—	0,20	0,20	38,2
26	54,0	20,0	14,6	15,9	85	9.7	1,6	2,4	—	0,40	0,40	36,8
27	49,7	22,1	13,9	15,8	83	6,7	0,4	3,8	—	3,35	3.35	41,2
28	54,6	24,4	10,7	17,0	61	1,3	0,9	7,9	5,70	5,45	11,15	46,7
29	50,5	27,7	11,8	19,5	69	1,3	—	8,0	5,25	5,95	11,20	46,5
30	45,9	23,8	15,8	18,6	74	5,7	—	3,1	0,85	3,00	3,85	44,8
31	51.5	22,3	15,6	18,2	74	7,0	4,7	9,5	2,75	1,20	3,95	47,2
Monats-Summe	1598,4	657,9	363,7	480,8	2260	201,0	55,1	202,6	83,75	87,40	171,15	1311,8
Monats-Mittel	751,6	21,2	11,7	15,5	70	6,5	—	6,5	2,70	2,82	5,52	42,3

Sept. Datum	Luftdruck auf 0° und Normalschwere reduziert	Temperatur-Extreme (abgelesen 9 p) Max.	Min.	Trockenes Thermometer Tagesmittel 7 a, 2 p, 9 p	Relative Feuchtigkeit Tagesmittel 7 a, 2 p, 9 p	Bewölkung 0—10 Tagesmittel 7 a, 2 p, 9 p	Niederschlags Höhe 7 a	Verdunstung nach Wild mm	Sonnenschein Vorm.	Nachm.	Tagessumme	Insolations-maximum-Thermometer
1	753,9	24,3	15,7	17,9	76	4,3	—	5,3	0,80	2,75	3,55	49,7
2	54,0	28,0	14,0	20,6	70	1,0	--	10,2	4,70	5,25	9,95	48.8
3	53,0	29,7	15,1	21,4	63	2,7	--	8,4	5,35	5,40	10,75	50,2
4	53,0	30,9	15,8	21,6	65	1,7	—	8,4	4,90	3,65	8,55	51,1
5	53,1	25,5	14,8	17,9	74	6,3	3.3	10,6	4,25	4,45	8,70	46,0
6	53,5	20,0	14,6	16,6	85	9,3	1,9	3,5	0,30	0,10	0,40	34,6
7	56,3	17,8	12,3	13,7	80	6,3	8,8	7,1	—	2,00	2,00	39,5
8	59,2	17,1	10,1	12,6	81	3,7	0,75	4,2	3,00	0,40	3,40	38,0
9	55,7	20,7	7,4	14,0	73	5,3	—	3,9	3,50	4,90	8,40	38,3
10	51,9	22,6	11,8	15,7	74	4,0	—	4,0	1,40	2,95	4,35	41,2
11	50,5	18,5	12,4	15,5	85	10,0	0,6	2,1	—	—	—	29,1
12	42,1	20,1	12,5	14,3	87	10,0	0,85	3,7	1,20	0,15	1,35	41,3
13	44,8	13,2	7,1	9,0	68	4,0	8,3	15,7 (?)	4,20	3,85	8,05	37,5
14	48,2	14,0	6,7	10,5	67	6,0	0,2	12,5 (?)	1,45	3,75	5,20	32,5
15	53,6	17,2	10,0	13,5	73	9,0	0,05	4,8	2,85	1,10	3,95	38,9
16	48,6	18,0	12,5	14,8	61	7,7	—	7,8	1,40	0,30	1,70	37,7
17	48,4	17,7	9,2	11,7	71	2,7	—	8,4	3,80	3,05	6,85	37,1
18	55,2	14,8	8,8	10,2	73	7,7	1,9	5,6	2,70	0,80	3,50	34,9
19	61,3	14,7	7,0	10,5	72	6,7	0,25	3,9	3,45	1.15	4,60	33,5
20	63,0	13,9	5,0	9,3	70	4,7	0,18	2,2	3,95	0,75	4,70	36,4
21	62,2	15,9	5,6	9,6	68	3,3	—	5,4	5,30	4,85	10,15	38,5
22	63,7	11,4	3,0	6,3	85	5,7	—	2,7	—	3,60	3,60	30,3
23	60,5	15,5	1,6	8,1	64	0,0	—	5,7	5,20	5,30	10,50	34,2
24	58,0	17,9	1,5	9,2	62	0,0	—	5,2	5,25	4,90	10,15	34,7
25	59,3	18,4	3,5	11,4	62	1,7	—	3,8	4,60	4,85	9,45	37,4
26	62,1	19,2	3,8	10,5	66	0,3	—	4,8	4,20	5,25	9,45	36.8
27	58,2	18,6	4,2	11,8	73	4,3	—	4,7	4,40	3,20	7,60	38,1
28	56,8	13,2	7,2	8,6	80	5,3	2,0	4,6	1,25	1,50	2,75	35,3
29	56,9	13,8	5,3	9,0	76	4,7	0,7	4,3	1,80	3,20	5,00	37,0
30	51,4	14,3	3,9	9,9	75	4,7	—	5,4	5,10	0,95	6,05	36,9
Monats-Summe	1648,4	556,9	262,4	385,3	218,1	143,0	29,78	178,9	90,30	84,35	174,65	1155.5
Monats-Mittel	754,9	18,6	8,7	12,8	73	4,8	—	6,0	3,01	2,81	5,82	38,5

Okt. 1902 Datum	Luftdruck auf 0° und Normalschwere reduziert	Temperatur-Extreme (abgelesen 9p) Max.	Min.	Trockenes Thermometer Tagesmittel 7a, 2p 9p	Relative Feuchtigkeit Tagesmittel 7a, 2p, 9p	Bewölkung 0—10 Tagesmittel 7a, 2p, 9p	Niederschlags-Höhe 7a	Verdunstung nach Wild mm	Sonnenschein Vorm.	Nachm.	Tagessumme
1	749,4	13,4	4,3	9,2	75	8,7	—	8,5	1,95	—	1,95
2	53,9	8,9	2,2	3,1	85	10,0	11 5	15,0(?)	—	—	—
3	57,0	4,8	1,3	3,6	74	10,0	1.0	3,8	—	—	—
4	58,6	8,6	3,4	4,9	75	5,7	—	2,5	—	0,45	0,45
5	54,5	9,9	1,0	7,0	75	9,0	—	2,8	0,25	—	0,25
6	48.7	8,2	4,1	4,5	94	10,0	0,6	5,3	—	—	—
7	47,4	10,8	4,2	8,5	88	9,3	8,8	2,5	—	—	—
8	51,5	9,8	5,4	6,9	88	7,0	1,8	1,6	—	—	—
9	53,4	12,4	4,7	7,9	83	4,3	1,2	3,1	4,20	3,35	7,55
10	46,7	17,0	4,6	11,8	81	7,7	—	2,3	1,15	1,60	2,75
11	47,2	18,7	8,8	13,0	83	5,0	1,55	2,7	1,50	3,70	5,20
12	52,2	16,2	9,5	11,3	89	7,7	—	1,9	1,15	0,50	1,65
13	61,0	12,6	5,2	9,1	77	7,0	0,03	2,3	3,50	2,25	5,75
14	52,2	14,5	8,2	11,7	75	7,7	—	4,2	—	0,55	0,55
15	50,4	14,5	9,7	11,7	69	7,3	5,3	6,7	0,70	2,20	2,90
16	43,6	14,7	10,1	11,3	73	9,0	—	4,3	—	—	—
17	43,9	11,7	8,0	9,4	67	7,3	—	4,1	—	3,45	3,45
18	47,8	11,4	5,5	7,4	84	6,3	1,5	2,9	3,30	—	3,30
19	52,2	11,0	5,8	8,1	75	7,7	1,25	2,6	0,05	2,20	2,25
20	52,9	11,3	5,3	8,3	79	8,3	2,1	1,9	2,00	0,20	2,20
21	49,9	12,8	7,5	9,9	80	5,7	3,5	5,3	0,10	0,40	0,50
22	56,4	11,7	4,7	7,3	76	2,7	5,9	2,4	1,20	2,95	4,15
23	63,2	15,3	1,3	5,4	87	3,7	—	1,0	2,50	3,65	6,15
24	67,1	11,3	2,2	6,6	85	3,7	0,2	1,1	—	4,00	4,00
25	63,7	12,4	1,7	6,0	82	0,7	—	1,0	4,15	4,10	8,25
26	57,4	8,4	2,2	4,6	83	2,7	0,15	0,6	0,30	3,20	3,50
27	51,9	7,6	3,1	6,0	86	10,0	—	1,0	—	—	—
28	56,3	8,7	4,8	6,7	89	9,3	2,5	1,2	—	0,25	0,25
29	57,6	9,9	2,0	4,4	82	0,3	—	2,0	4,20	4,05	8,25
30	53,2	5,1	1,3	2,7	96	10,0	0,15	—	—	—	—
31	54.2	10,1	2,1	6,8	87	6,0	1,3	1,5	0,05	1,45	1,50
Monats-Summe	1655.7	353,7	144,2	233,8	2522	209,5	50,33	98,1	32,25	44,50	76,75
Monats-Mittel	753,4	11,4	4,6	7,5	81,3	6,7	—	3,2	1,04	1,44	2,48

Der Evaporimeter zur Bestimmung der Verdunstung nach Wild ist ungeschützt auf dem Dach eines Gebäudes ca. 18 m über den Erdboden aufgestellt. Störungen durch Sturm sind durch Fragezeichen auf der Tabelle bezeichnet und wurden bei der Berechnung des Monatsmittels nicht mitberücksichtigt. Der Sonnenschein wurde gemessen mittelst der Aufzeichnungen des registrierenden Sonnenscheinautographen nach Campbell und Stokes. Als Insolations-Maximumthermometer wurde das von Herrschel mit berusster Kugel im Vakuum benutzt. Inbezug auf die Niederschlagsmengen sei darauf hingewiesen, dass diese hier nur zur allgemeinen Charakterisierung der Witterungsverhältnisse Erwähnung fanden. Einfluss auf die Versuche konnten sie nicht besitzen, da, wie oben erwähnt, die Kulturgefässe vor Regen geschützt wurden. Es betrug während der Vegetationsperiode des Hafers im Monats-Mittel:

	Juni (v. 15.—30.)	Juli	August	September (v. 1.—15.)
Luftdruck . .	753,7 mm	752,4 mm	751,6 mm	752,2 mm
Temper.-Extr. (Mittel)				
Maximum . .	23,1°	22,4°	21,2°	21,3°
Minimum . .	11,8°	12,6°	11,7°	12,0°
Trock. Therm.	16,9°	16,8°	15,5°	15,7°
Rel. Feucht. .	66%	76%	70%	74,7%
Bewölkung .	4,2	6,3	6,5	5,6
Niederschl. (Sa.)	43,8 mm	81,58 mm	55,1 mm	24,75 mm
Verdunstung .	9,1 „	7,1 „	6,5 „	6,96 „
Sonnenschein (Stunden)				
Vorm. . . .	4,66	3,04	2,70	2,53
Nachm. . .	4,74	3,39	2,82	2,71
Tag-Sa. . .	9,40	6,43	5,52	5,24
Insol.-Max. Therm. . .	45,1°	44,3°	42,3°	42,1°

Während der Vegetationsperiode des Senf waren die Witterungsverhältnisse im Monats-Mittel folgende:

	September	Oktober
Luftdruck	754,9 mm	753,4 mm
Temper.-Extr. (Mittel)		
Maximum	18,6°	11,4°
Minimum	8,7°	4,6°
Trock. Therm.	12,8°	7,5°
Rel. Feucht.	73,0%	81,3%
Bewölkung	4,8	6,7
Niederschlag (Sa.)	29,78 mm	50,33 mm
Verdunstung	6,0 „	3,2 „
Sonnenschein (Stunden)		
Vorm.	3,01	1,04
Nachm.	2,81	1,44
Tag-Sa.	5,82	2,48
Insol.-Max.-Therm.	38,5°	—[1])

Die durchschnittlichen Witterungsverhältnisse in den Vegetationsperioden des Hafers und des Senfs gehen aus folgenden Zahlen hervor:

	Hafer	Senf	Differenz Hafer +
Luftdruck	752,32 mm	754,20 mm	— 1,88 mm
Temper.-Extr.			
Maximum	21,9°	15,0°	6,94°
Minimum	12,1°	6,7°	5,36°
Trock. Therm.	16,2°	10,2°	6,0°
Rel. Feuchtigkeit	72,1%	77,2%	— 5,1%
Bewölkung	5,9	5,8	0,1
Niederschlag (Sa.)	68,41 mm	40,06 mm	28,35 mm
Verdunstung	7,21 „	4,6 „	2,61 „

1) Das Insolations-Maximum-Thermometer war während des Oktober nicht aufgestellt.

	Hafer	Senf	Differenz Hafer +
Sonnenschein			
Vorm.	3,11	2,03	1,08
Nachm.	3,31	2,13	1,18
Tag-Sa.	6,42	4,15	2,27
Insol.-Max.-Therm. . .	43,2	—	

Von Wichtigkeit für die Beurteilung der Resultate sind die Faktoren, welche die Verdunstung beeinflussen: der Luftdruck, die Temperatur, der Feuchtigkeitsgehalt der Luft und der Sonnenschein. Aus der vorstehenden Übersicht geht hervor, dass während der Vegetationsperiode des Hafers die Temperatur und die Sonnenscheindauer erheblich höher, der Feuchtigkeitsgehalt der Luft und der Luftdruck dagegen niedriger war als in der Vegetationsperiode des Senfs. Der Einfluss der Windstärke auf die Verdunstung kam bei unseren Versuchen nicht in Frage, da die Kulturgefässe an einem geschützten Orte Aufstellung gefunden hatten. Nach C. Eser [1]) besitzen 3 Faktorengruppen Einwirkung auf die Wasserverdunstung aus dem Boden: 1. die meteorologischen Elemente, 2. die physikalische und chemische Beschaffenheit des Bodens, 3. die Lage des letzteren gegen die Himmelsrichtung und gegen den Horizont. Wie sich die Versuchsböden der Wasserverdunstung gegenüber verhielten, wurde oben bereits erörtert; die Lage des Bodens gegen die Himmelsrichtung und gegen den Horizont war bei allen Böden gleich. Von den meteorologischen Elementen vergrössert eine hohe Lufttemperatur und Windstärke die Verdunstungsmenge, die Zunahme der Luftfeuchtigkeit und des Luftdrucks vermindert sie. Dementsprechend war die Verdunstung während der Vegetationsperiode des Hafers be-

1) Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. VII. 1884. S. 3.

deutend stärker als in der des Senfs. Da nun die Wasserzufuhr nach der Verdunstung bemessen wurde, so war dieselbe in der Vegetationsperiode des Hafers verhältnismässig eine erheblich stärkere als in der des Senfs; es dürfte dieses Moment neben dem verschiedenen Charakter der beiden Kulturpflanzen dazu beigetragen haben, dass die Differenzierung der Wasserzufuhr bei den Hafer-Versuchen einen bedeutenderen Einfluss gehabt hat wie bei denen mit Senf, sowie dass bei den letzteren die Überlegenheit der oberirdischen Wasserzufuhr über die unterirdische geringer war als bei den ersteren.

Fassen wir die Ergebnisse unserer Versuche zusammen, so sehen wir, dass bei Pflanzenkultur-Versuchen mit Kulturgefässen, die wie die unsrigen als Ventilationsvorrichtung nur eine in den Untergrund führende Röhre aufweisen, im allgemeinen die oberirdische Wasserzufuhr günstiger wie die unterirdische wirkt. Es wird dadurch die Zweckmässigkeit der von Jul. Kühn[1]) bei seinen Knochenmehl-Versuchen angewandten Methode der oberirdischen Wasserzufuhr bestätigt. Wird, wie S. 30 bereits bemerkt wurde, vorsichtig verfahren und das verdunstende Wasser so oft ersetzt, dass die Verdunstungsmenge von 10% des normalen Wassergehaltes nicht überschritten werden kann und das Maximum desselben nur 65% der vollen Wasserkapazität beträgt, so ist es bei der Wasserzufuhr von oben ausgeschlossen, dass die unter dem Boden sich befindende Kiesschicht mit Wasser angefüllt wird und dass lösliche Phosphorsäuremengen des Superphosphates in den Kies gewaschen werden oder sonstige platzregenartige Einflüsse sich kund geben könnten. — Sollten dennoch ausnahmsweise bei sehr durchlässigem Sandboden eine eventuelle Auswaschung von Pflanzennährstoffen vorkommen, so würde der dadurch bewirkte nachteilige Einfluss überholt werden von der bei unterirdischer Wasserzufuhr im Boden ein-

1) Berichte aus dem physiologischen Laboratorium und der Versuchsanstalt des landwirtschaftlichen Instituts der Universität Halle, herausgegeben von Julius Kühn, Heft XIII. S. 281.

tretenden mangelhaften Luftzirkulation, was vor allem der Fall sein würde bei Böden mit geringer Permeabilität für Luft. — Bei einem erheblichen Teil der Versuche war übrigens die Pflanzenproduktion bei oberirdischer und unterirdischer Wasserzufuhr die gleiche, während bei dem Niederungsmoorboden (No. IV) infolge der durch seine grobe Struktur bedingten verhältnismässig hohen Luftpermeabilität einerseits, sowie der bei oberirdischer Wasserzufuhr durch Ausdehnung der zahlreichen kolloidalen Substanzen entstehenden Verdichtung der Oberfläche und der vielleicht ungünstigeren Wasserverteilung andererseits, die unterirdische Wasserzufuhr eine entschiedene Überlegenheit über die oberirdische zeigte. Die Resultate meiner Versuche lassen es natürlich nicht als ausgeschlossen erscheinen, dass dieselben bei Anbringung von besonderen Vorrichtungen zum Zwecke der besseren unterirdischen Wasserzufuhr, wie sie z. B. O. Kellner vorgenommen hat, eine günstigere Wirkung der unterirdischen Wasserzufuhr ergeben würden. So lange man jedoch die gewöhnliche Methode der unterirdischen Wasserzufuhr beibehält, so lange ist zur Erzielung einer gesunden und normalen Vegetation der Pflanzen bei den Gefässversuchen, wie meine Resultate beweisen, die oberirdische Wasserzuführung als die normalere und bessere zu bezeichnen.

Lebenslauf.

Ich, Alfred Freiherr von Schele, Sohn des Freiherrn Arnold von Schele, Rittergutsbesitzers zu Schelenburg bei Osnabrück, Königl. Sächs. Majors a. D. und seiner Gemahlin Sylvie, geb. Freiin von Reibnitz, bin geboren am 30. Juni 1876 zu Dresden. Von Ostern 1883 bis dahin 87 besuchte ich die Vorschule und die Sexta des Gymnasiums zu Dresden-Neustadt. Infolge der Versetzung meines Vaters nach Zittau absolvierte ich die Klassen Quinta bis Untertertia auf dem dortigen Gymnasium von 87—90 und kam zu Ostern 90 auf das Gymnasium zu Bückeburg in Schaumburg-Lippe, wo die Mutter meines Vaters lebte. Daselbst legte ich Ostern 95 die Reifeprüfung ab und widmete mich dann dem Studium der Landwirtschaft, indem ich mich zunächst bis zum Herbst 96 auf das Rittergut Olenhusen bei Göttingen, Herrn Landschaftsrat Götz von Olenhusen gehörig, begab.

In Göttingen begann ich darauf mein Universitätsstudium, wo ich Vorlesungen über Landwirtschaft, politische Ökonomie und Verwaltungsrecht hörte und zwar bei den Herren Professoren: Fleischmann, Lehmann, von Seelhorst, Tollens, Esser, Griepenkerl, Cohn, Frensdorff und Mollier. Michaelis 97 trat ich wieder in die landwirtschaftliche Praxis über und war als Volontär-Verwalter bei Herrn Amtsrat Tappen auf der Königlichen Domäne Pattensen an der Leine (Hannover) tätig, wo ich bis zum Herbst 98 verblieb. Vom 1. Oktober 98 bis dahin 99 genügte ich meiner militärischen Dienstpflicht bei dem Königl. Sächs.

II. Jäger-Bataillon No. 13 zu Dresden. Dann ging ich zur Fortsetzung meines Studiums nach Berlin. Ich nahm dort Teil an Vorlesungen der Universität und der Landwirtschaftlichen Hochschule bei den Herren Professoren: Orth, Werner, Schotte, Schmoller, Lehmann, Oertmann, sowie bei dem Herrn Forstmeister Kottmeier und den Herren Doktoren Jastrow und Ritter v. Kaufmann-Asser.

Im Herbst 1900 suchte ich die Universität Halle-Wittenberg auf. Daselbst wurden meine Studien leider durch Krankheit unterbrochen. Ich hörte Vorlesungen der Herren Professoren: J. Kühn, Maercker, Conrad, Riehl, Vaihinger, Albert, Disselhorst, Klebs, Dorn, Cluss, Holdefleiss, Falke, des Herrn Dr. Bode, des Herrn Landes-Ökonomierats v. Mendel-Steinfels und des Herrn Direktors Beeck, und nahm teil an der landwirtschaftlichen Studienreise nach England und Holland unter Leitung des Herrn Professors Dr. Falke.